

# System for flexible automated manufacture of hypoid wheel pairs

**Patent number:** DE4342648

**Publication date:** 1995-06-29

**Inventor:** STADTFELD HERMANN J PROF DR (DE)

**Applicant:** STADTFELD HERMANN J PROF DR (DE)

**Classification:**

- **International:** B23F17/00; B23F23/00; B23F23/12; G01M13/02; G05B19/418; B23F17/00; B23F23/00; G01M13/02; G05B19/418; (IPC1-7): B23F23/00; B23F23/12; B23Q15/00; G01M13/02; G01N3/08; G05B19/427; G06F17/50

- **European:** B23F17/00M2; B23F23/00B; B23F23/12C; G01M13/02B; G05B19/418Q

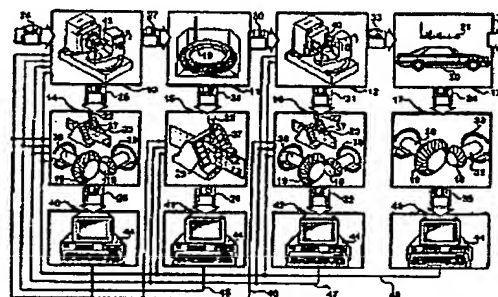
**Application number:** DE19934342648 19931214

**Priority number(s):** DE19934342648 19931214

Report a data error here

## Abstract of DE4342648

A method for developing an optimal manufacturing procedure during the automated production of bevel-gear hypoid wheel and pinion pairs operates within an established sequence of operations comprising tooth forming/machining, heat treatment, precision finishing and final inspection/testing. Testing is undertaken at pre-hardened stage, after heat-treatment, precision profiling and during fully assembled operation under load using purpose-built apparatus forming part of the manufacturing route. The results of the tests at each stage are evaluated and displayed via the stage computers (40 to 43) and a communications bus connects all stages such that the flexible manufacturing cell so formed responds to specific data matrices.

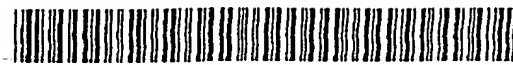


Data supplied from the [esp@cenet](mailto:esp@cenet) database - Worldwide

BEST AVAILABLE COPY

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

172



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑩ DE 43 42 648 A 1

②① Aktenzeichen: P 43 42 648.4  
②② Anmeldetag: 14. 12. 93  
④③ Offenlegungstag: 29. 6. 95

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup>:  
B 23 F 23/00  
B 23 F 23/12  
G 05 B 19/427  
G 01 M 13/02  
B 23 Q 15/00  
G 01 N 3/08  
G 06 F 17/50

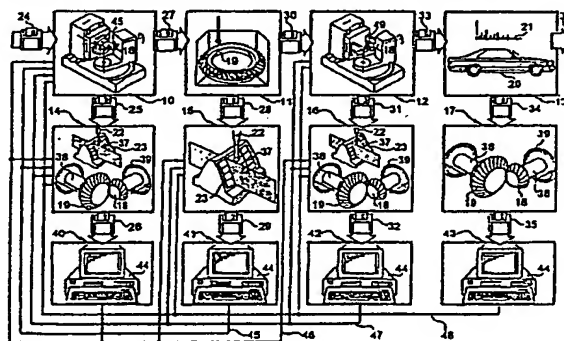
DE 43 42 648 A 1

⑦① Anmelder:  
Stadtfeld, Hermann J., Prof. Dr., 54531  
Manderscheid, DE  
  
⑦④ Vertreter:  
Pfeifer, H., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 76137  
Karlsruhe

⑦② Erfinder:  
gleich Anmelder

⑤④ Verfahren zur kontrollierten Entwicklung von Kegelnrädern und Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens

⑤⑦ Mit diesem Verfahren wird insbesondere die Entwicklung bogenverzählter Kegelnräder (18, 19) bezüglich Laufverhalten und Verzählungsqualität geführt bzw. gesteuert. Die Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens enthält Einrichtungen zum Verzählen (10), Härten (11), Haftfeinbearbeiten (12) und Fertigprüfen (13), sowie Einrichtungen zum Prüfen (14 bis 17) und Auswerten (40 bis 43). Erfindungsgemäß werden Regelkreise geschaffen, zwischen je einer Bearbeitungseinrichtung (10 bis 13), einer Prüfeinrichtung (22, 38) und einem Systemrechner (44). Als Regelgröße dient eine Kombination aus dem Laufverhalten und der Geometrie virtueller Meisterräder. Diese vier Regelkreise beeinflussen sich durch Verbindungen gegenseitig derart, daß ein stabiles, konvergierendes Verfahren mit einem Minimum an Entwicklungsschritten entsteht. Der Verfahrensablauf und die Regelsystematik wird mit einer einzigen Matrix gesteuert. Durch die Möglichkeit den Datentransfer alternativ mittels Disketten, Datenleitungen oder Papierausdrucken vorzunehmen, läßt sich das Verfahren in alle bestehenden Anlagen zum Kegelnradverzählen integrieren.



DE 43 42 648 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur kontrollierten Entwicklung von Zahnrädern, insbesondere von spiralverzahnten Kegelrädern, gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruches 1, sowie eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens, enthaltend folgende Elemente:

- ein Systemrechner zur Steuerung der Entwicklung der Kegelräder und zur Berechnung von Korrekturvorgaben für die beteiligten Bearbeitungsmaschinen
- eine Verzahnmaschine zum Schneiden der Zahnflanken eines Kegelrades
- ein Koordinatenmeßgerät zum Vermessen der Flankenformen des Kegelradpaares
- eine Laufprüfmaschine zum Abrollen und Prüfen von Tragbild und Laufverhalten eines Kegelradpaares;
- eine Härteanlage zum Einsatzhärten oder Wärmebehandeln eines Kegelrades;
- eine Feinbearbeitungsmaschine, zum Läppen, Honen oder Schleifen der gehärteten Zahnflanken des Kegelrades;
- eine Testeinrichtung mit realistischer Laufumgebung wie beispielsweise ein Testfahrzeug, zur Fertigprüfung eines Kegelradpaares;
- Disketten, Datenleitungen oder gedruckte Arbeitspläne und Einstelldaten als Verbindungsmittel zwischen den Maschinen, Meßgeräten und dem Systemrechner.

Zahnräder zur Leistungsübertragung und im besondern bogenverzahnte Kegelräder, wie sie im Fahrzeugbau eingesetzt werden, sind stets mit Flankenkorrekturen versehen, die eine Anpassung an den jeweiligen speziellen Anwendungsfall ermöglichen. Diese Flankenkorrekturen betragen nur einige hundertstel Millimeter, sie entscheiden aber über einen ruhigen Lauf und ein Abwälzen ohne unerwünschten Kantenkontakt bei kleinsten und höchsten Belastungen. Da nach dem Stand der Technik die Erkenntnisse über die Mechanismen, die zu einer laufruhigen Zahnradpaarung führen, nur unzureichend bekannt sind, kann bei jeder Neuauslegung nur versucht werden, durch die Wahl von bestimmten Berechnungsparametern eine möglichst gute Vorgabe zu schaffen.

Es ist bekannt, daß bei der Herstellung von Zahnrädern, insbesondere von bogenverzahnten Kegelrädern, Unterschiede zwischen der berechneten Flankenform und der, auf der Verzahnmaschine erzeugten, tatsächlichen Flankenform, bestehen. Diese gefährden die Wirksamkeit der Flankenkorrekturen in empfindlicher Weise. Mittels einer Vermessung der Zahnflanken können im Vergleich mit den Flanken eines Meisterrades Korrekturvorgaben für die Verzahnmaschine berechnet werden, die ein erneutes Schneiden eines korrigierten Zahnrades ermöglichen. Als Meisterräder werden reale, physikalisch existente Zahnräder, oder in Datenfiles gespeicherte, fiktive Gebilde verwendet.

Bei der heute üblichen Verwendung von fiktiven Meisterrädern sind diese normalerweise nach der Zahnradauslegung durch eine Simulationsberechnung erzeugt worden, weshalb sie nicht notwendigerweise die gestellten Anforderungen an die Laufruhe unter verschiedenen Belastungen erfüllen. In diesem Falle kann eine Vermessung und Korrektur nicht zu einer Qualitätsverbesserung im Sinne des Lauf- und Beanspruchungsverhaltens führen, sondern im schlechtesten Falle die hochgenaue Reproduktion eines ungeeigneten Zahnrades liefern.

Es sind Verfahren bekannt, wie beispielsweise aus der EP-0 353 451 A2, die eine systematische Annäherung an fiktive Meisterräder ermöglichen. Diese Verfahren erlauben eine gesteuerte und geregelte Fabrikation von Zahnrädern, sind jedoch in der Entwicklungsphase nur bedingt einsetzbar. Bei einer neuen Auslegung kann die Annäherung der noch nicht wärmebehandelten, weichen Zahnräder an ein fiktives Meisterradpaar eine Annäherung an ein ungeeignetes Zahnradpaar bedeuten. Das eine Zahnradpaarung ungeeignet ist kann frühestens bei der Laufprüfung der weichen Zahnräder festgestellt werden. In diesem Falle wird nach dem Stand der Technik die Herstellung der neuen Zahnräder abgebrochen und erneut eine neue Auslegung mit geänderten Korrekturen berechnet, was neue Maschineneinstellungen und ein neues fiktives Meisterrad zum Ergebnis hat. Die neuen Daten werden zur Herstellung einer ersten Probezahnradpaarung verwendet, es erfolgt danach eine Flankenvermessung und im Falle vorhandener Abweichungen zwischen den neuen fiktiven Meisterrädern und den neuen Probezahnradern, erneut eine schrittweise, systematische Annäherung an das Meisterradpaar.

Der Zyklus von Auslegung, Herstellung und Annäherung an das Meisterradpaar wird so oft wiederholt, bis die hergestellte Zahnradpaarung den Vorstellungen bezüglich Laufruhe unter verschiedenen Belastungen genügt. Es kann in diesem Zusammenhang nicht von einem Regelkreis gesprochen werden, da keine datenmäßige Rückkopplung von der Laufprüfmaschine zum Auslegungscomputer besteht. Es werden in der Regel nur qualitative Informationen auf mündlichem oder schriftlichem Wege von der Laufprüfmaschine zum Berechnungsbüro gegeben. Das Vorgehen entspricht dem Prinzip Versuch und Irrtum.

Nach dem Härten der Zahnräder liefert eine Vermessung anhand des Meisterradpaares erneut Abweichungen, die einem stochastischen sowie einem systematischen Anteil der Härteverzüge entsprechen. Bei der Verwendung von Feinbearbeitungsverfahren, die keine definierte Flankenformerzeugung erreichen, wie beispielsweise Läppen, werden nach dem Stand der Technik Vorkorrekturen für die Schneidmaschine zur Herstellung des weichen Zahnrades errechnet, die es ermöglichen, daß ein "gezielt falsch" geschnittenes, weiches Zahnrad nach dem Härten die richtige, gewünschte Flankenform erhält. Dieser Vorgang muß mehrmals wiederholt werden, bis Maschineneinstellaten für die Schneidmaschine bekannt sind, die ein entsprechendes, vorkorrigiertes Zahnrad liefern. Das ursprünglich in mehreren Versuchen erarbeitete fiktive Meisterradpaar für die Weichverzahnung ist durch die Vorkorrektur unbrauchbar geworden. Nach dem Stand der Technik wird es durch ein physikalisch existentes Weichzahnradpaar ersetzt. Dies wiederum bietet nicht die Möglichkeit auf Chargenschwankungen des verwendeten Stahls zu reagieren oder den individuellen Zustand von Verzahnwerkzeugen, Verzahnmaschinen und der Härteanlage zu berücksichtigen, was ständig zu Produktionsunterbrechun-

gen führt, die zur Erarbeitung von neuen Vorkorrekturen genutzt werden und neue, physikalisch existente Meisterräder für die Weichverzahnung zur Folge haben.

Bei der Verwendung von Feinbearbeitungsverfahren, die eine definierte Flankenformerzeugung erreichen, wie beispielsweise Schleifen, wird nach dem Stand der Technik versucht, alle Härteverzüge abzuschleifen. Eine Vermessung der geschliffenen Flanken erfolgt im Vergleich mit dem in mehreren Versuchen erarbeiteten virtuellen Meisterrad. In der Regel bestehen Abweichungen zwischen den geschliffenen Flanken und dem virtuellen Meisterrad, da der systematische Anteil der Härteverzüge das Schleifresultat verfälscht. Aus dem Meßergebnis können Korrekturwerte für die Schleifmaschine errechnet werden, wodurch eine systematische Annäherung an die Flankenform des virtuellen Meisterradpaares erfolgt. Durch das Abschleifen von Härteverzügen entsteht eine empfindliche Schädigung der Härteschicht der Oberfläche, die in aller Regel durch Einsatzhärten erzeugt wird. Dies führt zu Schwankungen des Oberflächengefüges und der Härte innerhalb der Flanken, was eine Reduzierung der Tragfähigkeit zur Folge hat.

Die endgültige Qualitätsprüfung einer Zahnradpaarung kann erst nach der Hart- Feinbearbeitung auf einer Prüfmaschine oder in einem Testfahrzeug erfolgen. Zeigt eine Laufprüfung in einem Testfahrzeug, daß eine weitere Optimierung der Zahnradpaarung erforderlich ist, muß der gesamte Prozeß von Berechnung, Weichoptimierung und Hartoptimierung ganz von vorne, bei der Auslegungsberechnung begonnen werden.

Im Unterschied dazu bedient sich die traditionelle Zahnradentwicklung und -herstellung nicht der Vermessung der Flankenoberflächen um Korrekturvorgaben zu ermitteln. Es wird auf der Laufprüfmaschine eine visuelle Tragbildkontrolle sowie eine Geräuschprüfung vorgenommen. Erfahrenes Fachpersonal kann danach eine Korrekturvorgabe für eine bestimmte Art von Verzahnmaschine empirisch ermitteln. Das erfahrene Fachpersonal bedient sich auch generell einer gefühlsmäßigen Vorkorrektur des Weichzahnrades um die Härteverzüge auszugleichen. Dies entspricht einem Regelkreis in dem der Mensch die Funktion des Reglers ausführt. Die Aufgabe des Verzahnungsspezialisten bestand sogar darin, Testfahrten mit neuen Zahnradserien selbst durchzuführen um, falls erforderlich, weitere gefühlsmäßige Korrekturen für die Schneid- oder Läppmaschine zu ermitteln. Da durch das traditionell ausschließlich verwendete Läppen ein relativ gleichmäßiger Materialabtrag auf den gehärteten Flanken entsteht, muß keine Einbuße von Tragfähigkeit in Kauf genommen werden. Bei sehr erfahrenem Personal kann die traditionelle Zahnradentwicklung der dem heutigen Stand der Technik entsprechenden deutlich überlegen sein. In jedem Falle ist die Zahnradentwicklung und -optimierung nach dem heutigen Stand der Technik der traditionellen nicht überlegen. Kostspielige Einrichtungen für Koordinatenmessung und Laufanalysen sowie für die hochpräzise numerisch gesteuerte Feinbearbeitung liefern nicht die von den Anwendern erhofften Vorteile, wie die gezielte Entwicklung geräuscharmer, hochbeanspruchbarer Zahnradder. Die Entwicklungskosten pro Auslegung — insbesondere bogenverzahnter Kegelräder — sind im Gegenteil durch praktizieren des heutigen Standes der Technik sogar angestiegen.

Es sind Verfahren bekannt, die eine Schaffung von flexiblen Fertigungseinrichtungen zur Produktion mittlerer Losgrößen zum Ziel haben und sich Regelfunktionen bedienen, um eine gleichbleibende Qualität zu erhalten, wie beispielsweise aus

- DE-C- 18 17 914
- DE-A- 37 20 157
- JP-A-82 044 808
- JP-A-62 039 157
- JP-A-60 064 229
- Automatisierungstechnische Praxis-ATP, Band 28, Nr. 8, August 1988, München, DE, "Flexible Automation in der Fertigungstechnik".

Weiterhin sind Verfahren bekannt, die eine Qualitätsoptimierung von Zahnradern oder anderen Maschinenelementen in Fertigungszellen zum Ziel haben und sich dazu Regelkreisen bedienen, wie beispielsweise aus

- EP-0-353 451 A2
- Technische Rundschau, Band 78, Nr. 41, Oktober 1988, Bern, CH, "Rechnergestützte Qualitätsoptimierung an flexiblen Fertigungszellen"
- Werkstatt und Betrieb, Band 120, Nr. 10, Oktober 1987, München, DE, "Autonome Zahnrad Fertigungszellen"

Die bekannten Verfahren beschreiben die datenmäßige Verbindung der Herstellungsmaschinen und Prüfeinrichtungen mit dem Ziel, eine flexible Fabrikationseinrichtung zu schaffen. Diese Fabrikationseinrichtungen sind abgeschlossene Gebilde, die sich nur über einzelne Fertigungsoperationen, wie beispielsweise Weichbearbeitung oder Hartfeinbearbeitung erstrecken und die Fabrikation von Losgrößen, nicht die Entwicklung eines Maschinenelementes realisieren. Ein Zahnradpaar, insbesondere bogenverzahnte Kegelradpaarungen sind als Funktionsgebilde zu verstehen, deren Entwicklung zu einem guten Laufverhalten von größter Wichtigkeit ist. Die Entwicklung von Kegelradgetrieben erstreckt sich über alle Stadien der Weich- und Hartbearbeitung und sollte Wärmebehandlung und Prüfung im Fertigprodukt mit einbeziehen. Die bekannten Verfahren knüpfen erst nach einer erfolgreichen abgeschlossenen Entwicklung an, um z. B. Zahnradpaare mit einer gleichbleibenden Qualität zu produzieren.

Die Erfindung, wie sie durch die Merkmale des Anspruches 1 beansprucht wird, löst die Aufgabe der Schaffung eines Verfahrens zur kontrollierten Entwicklung und Optimierung von Zahnradern, das alle unnötigen oder falschen Schritte unterbindet, indem eine Arbeitsfolge vorgegeben wird, die aus den jeweils notwendigen und optimalen Fertigungs-, Prüf- und Korrekturschritten besteht. Die Entwicklung muß nicht in einer Ferti-

gungszelle durchgeführt werden, sondern kann auf Einrichtungen zugreifen, die sich an völlig verschiedenen Orten befinden. Es dominiert bei dem erfindungsgemäßen Verfahren die präzise Vorgabe eines optimierten Ablaufes. Im Gegensatz zum Stand der Technik ist die Regelgröße des erfindungsgemäßen Verfahrens nicht die Abweichung zur vorausberechneten Meisterradgeometrie, sondern die Abweichung zu einem vorgegebenen Lauf- und Beanspruchungsverhalten. Daher wird bezogen auf die Flankengeometrie die Sollgröße in der Regelstrecke noch beeinflusst. In der Planungsphase einer neuen Verzahnungspaarung werden Informationen über die Art der Verzahnung (d. h. die Ergebnisse der Auslegungsberechnung), sowie die Verfügbarkeit und die Fähigkeiten der Fertigungsmaschinen, wie z. B. Schneid-, Prüf- und Feinbearbeitungsmaschinen, zur Belegung einer Regelmatrix benutzt. Je nach den individuellen Gegebenheiten einer bestehenden Fertigungsanlage, können beispielsweise Laufprüfung, Koordinatenmessung und Einflankenwälzprüfung alternativ oder in einer optimalen Kombination eingesetzt werden. Ebenfalls zur Feinbearbeitung kann Läppen, Schleifen oder Honen alternativ in den Fertigungsablauf eingeplant werden.

Der Ablauf des erfindungsgemäßen Verfahrens ist nicht starr vorgegeben, sondern reagiert auf alle Prüfungen und Messungen durch Vorgabe des nächsten Schrittes, indem Regelkreise aktiviert werden. In jedem Falle gibt es nach jedem Schritt der Verzahnungsentwicklung einen optimalen nächsten Schritt. Darüberhinaus ist es dem Benutzer möglich, in einem Expertensystem ähnlichen Dialog, eigene Entscheidungen zu treffen, die dann jedoch wieder zur präzisen Vorgabe des nächsten Schrittes führen. Die komplexe und strenge Regelsystematik führt zu einer hohen Konvergenz des Verfahrens, so daß normalerweise kein Korrekturschritt wiederholt werden muß. Es handelt sich um ein stark gedämpftes Regelverhalten, was nicht wie bei bekannten Verfahren als Iteration bezeichnet werden kann. Auch nach fehlerhaftem oder ungenauen Arbeiten durch den Anwender (z. B. Fräsergeometrie außerhalb der Toleranz) bleibt die Konvergenz des Verfahrens erhalten. Dem Anwender des erfindungsgemäßen Verfahrens und der Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens wird es durch ein stets optimales Vorgehen ermöglicht, mit modernen Fabrikationseinrichtungen, Kegelräder der höchstmöglichen Genauigkeit, Tragfähigkeit und Laufruhe, bedeutend wirtschaftlicher als nach dem heutigen Stand der Technik zu entwickeln und zu optimieren und zu produzieren.

Das erfindungsgemäße Verfahren beruht darauf, ein Regelprinzip zu schaffen, das sich einer Regelmatrix bedient, die den Datenstand aller an der Verzahnungsentwicklung beteiligten Maschinen und Meßgeräte verwaltet, auswertet, aufdatiert und zu deren Einstellung koordiniert freigibt. Die Regelmatrix ist zusammen mit allen Datensätzen einer spezifischen Zahnradpaarung in einer Datei abgespeichert. Diese Datei kann sich im Speicherbereich eines zentralen Computers oder vorzugsweise auf einer auslegungsspezifischen Datendiskette (Systemdiskette) befinden, die zunächst das Probe los und später ein reguläres Los von Werkstücken begleitet. Jede spezifische Zahnradpaarung erhält eine eigene Datei oder Systemdiskette, die bei einer neuen Auslegung von einem Computerprogramm automatisch zusammengestellt wird. Der Computer, auf dem dieses Programm installiert ist (Systemrechner) speichert auf der Datei oder Systemdiskette Einstelldaten für alle an der Herstellung einer Radpaarung beteiligten Maschinen und Prüfeinrichtungen, sowie drei verschiedene fiktive Meisterradpaare (in Form von Koordinatenfiles), für die weiche, die gehärtete und die einbaufertige (feinbearbeitete) Radpaarung. Bei einer Neuauslegung können Kennwerte für den erwarteten Härteverzugs und die Last-Verlagerungscharakteristik aus einer Datenbank, die im Systemrechner gespeichert ist, übernommen werden. Die Datenbank kann beim individuellen Anwender des erfindungsgemäßen Verfahrens automatisch vom Systemrechner anhand der Radpaarungen, die die erfindungsgemäße Vorrichtung bereits durchlaufen haben, erstellt werden. Weiterhin enthält die Systemdiskette eine protokollierende Regelmatrix. Diese Regelmatrix wird vom Systemrechner aufgrund der gemachten Eingaben (verwendete Maschinen und Meßgeräte) erstellt. Zunächst werden in der Reihenfolge der Arbeitsschritte Kenner in den Feldplätzen der Regelmatrix gesetzt (z. B. Weichschneiden = 1, Koordinatenmessung der Weichverzahnung = 0, Laufprüfung der Weichverzahnung = 1 usw.). In einem zweiten, korrespondierenden Datenfeld der Regelmatrix werden Zähler belegt (z. B. Datenstand Verzahnung = 1, Datenstand Laufprüfung-weich = 1, Meisterrad-weich = 1 usw.). In einem dritten, korrespondierenden Datenfeld ist der Korrekturstand eingetragen. Als "kleine" Regelkreise werden die Spalten der Regelmatrix von oben nach unten normalerweise nicht öfter als zweimal durchlaufen. Als Referenz dienen fiktive Meisterräder, die die wichtigste Querverbindung der verschiedenen Operationen (Spalten der Regelmatrix) sind. Die Meisterräder aller Operationen werden beispielsweise durch eine Laufoptimierung der weichen Verzahnung beeinflusst, so daß die Koordinatenmessung (der weichen, harten und feinbearbeiteten Verzahnung) nicht gegen ein vorausberechnetes, sondern gegen ein bereits laufoptimiertes fiktives Meisterrad erfolgt.

Das Einstellen oder Rüsten der erfindungsgemäßen Vorrichtung wird vom Systemrechner durch Auswerten der Regelmatrix realisiert. Durch die Möglichkeit von völlig unterschiedlichen Belegungen der Regelmatrix, werden zum Teil gänzlich verschiedene Arbeitsfolgen vom Systemrechner ausgearbeitet und vorgegeben. Diese Arbeitsfolgen werden im Systemrechner ermittelt und beispielsweise in gedruckter Form ausgegeben. Es können jederzeit mehr Maschinen und Prüfeinrichtungen als erforderlich vorgegeben werden, was es dem Systemrechner ermöglicht ein Optimum zu ermitteln. Dadurch werden, der individuellen Entwicklungs- bzw. Fabrikationsaufgabe gemäß, alle erforderlichen Maschinen und Meßgeräte zu einem Regelkreis zusammengestellt. Es ist dadurch früher als bisher bekannt, welche Maschinen und Meßgeräte während der Herstellungszeit der gewünschten Anzahl von Zahnradern belegt sind. Mittels der Regelmatrix kann der Systemrechner bereits in der Planungsphase, die Anzahl der benötigten Drehteile zur Entwicklung von beispielsweise 10 Proberadsätzen ermitteln.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens schließt alle Maschinen und Meßeinrichtungen, sowie mindestens einen Systemrechner zur Herstellung des Zahnrades zu einem großen Regelsystem zusammen, der aus vier sich gegenseitig beeinflussenden Einzelregelkreisen besteht. Als Verbindungselement der erfindungsgemäßen Vorrichtung werden vorzugsweise Datendisketten verwendet. Dadurch wird die höchstmögliche Flexibilität bei der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens erreicht.

was es ermöglicht, örtlich beliebig entfernte Maschinen, Meßgeräte und Rechner mit einer beliebigen zeitlichen Planung in einer Vorrichtung zu integrieren. Die Möglichkeit, die verschiedenen Maschinen und Prüfeinrichtungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit dem Systemrechner fest zu verdrahten besteht ebenfalls. In diesem Falle wird der Inhalt jeder auslegungsspezifischen Systemdiskette als separate Arbeitsdatei auf dem Systemrechner eingerichtet.

Ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens ist im folgenden anhand von Tabellen, die die Regelmatrix repräsentieren, ausführlich beschrieben.

Tabelle 1 zeigt das prinzipielle Aussehen der Regelmatrix des erfindungsgemäßen Verfahrens. Sie ist in waagerechter Richtung in die sieben zu berücksichtigenden Operationen zur Entwicklung unterteilt. Diese sind: Verzahnen des Ritzels, Verzahnen des Tellerrades, Härten des Ritzels, Härten des Tellerrades, Hartfeinbearbeitung des Ritzels, Hartfeinbearbeitung des Tellerrades und Fertigprüfung der Paarung. In der erfindungsgemäßen Systematik wird die Fertigprüfung wie eine Fertigungsoperation behandelt. Die Spalte "Voriger Schritt" dient (in Verbindung mit der Zeile "Voriger Schritt") als Gedächtnis der Regelmatrix und gibt mit 1 an, welche Zeile der jeweiligen Operation zuletzt durchlaufen wurde. Die Spalte "Nächster Schritt" steuert in (Verbindung mit der Zeile "Nächster Schritt") mit einer 1, welcher Schritt der nächsten aktuellen Operation als nächstes durchgeführt werden soll.

In senkrechter Richtung ist die Regelmatrix zur Steuerung der jeweiligen Fertigungsoperation in Schritte untergliedert, die mit einem Kenner 1 aktiviert werden können. Die Zeile "Bearbeiten" steuert mit 1 oder 0 unter der jeweiligen Operation, ob diese durchgeführt wird (aktiviert) oder nicht. Die Zeile "Daten Bearbeit." gibt mit einer Nummer von 0 bis N an, der wievielte Datenstand dieser Bearbeitung vorgegeben wird. Die Zeile "Laufprüfung" steuert mit 1 oder 0, ob nach dem jeweiligen Bearbeitungsschritt eine Laufprüfung durchgeführt wird (aktiviert) oder nicht. Die Zeile "Daten Laufprüf." gibt mit einer Nummer von 0 bis M den Datenstand der Laufprüfung für die jeweilige Operation an. Die Zeile "3-D-Messung" steuert mit 1 oder 0, ob nach dem jeweiligen Bearbeitungsschritt eine Koordinatenmessung der Flanken durchgeführt wird (aktiviert) oder nicht. Die Zeile "Meisterrad Nr." gibt mit einer Nummer von 0 bis L den Datenstand des Koordinatenmeßgerätes für jede Operation getrennt an. Die Zeile "Auswertung" steuert mit 1 oder 0, ob für die jeweilige Operation eine Korrekturvorgabe als Resultat der durchgeführten Laufprüfung oder Koordinatenmessung errechnet wird. Die Zeile "Korrekturstand" gibt mit einer Nummer von 0 bis K an, wie oft bereits aus der jeweiligen Operation eine Korrekturvorgabe berechnet wurde. Die Zeile "Korr.-Adresse" gibt mit einer Nummer von 1, 2 oder 3 an, ob die Korrektur am Ritzel, Tellerrad oder an beiden anteilig vorgenommen wird. Die Zeile "Voriger Schritt" hat eine Gedächtnisfunktion und gibt mit der Nummer 1 unter einer einzelnen oder mehreren parallelen Operationen an, daß diese zuletzt stattgefunden haben. Die Zeile "Nächster Schritt" steuert mit 1 unter einer oder mehreren parallelen Operationen, welche Fertigungsoperation als nächstes durchgeführt werden soll. Bei den beteiligten Maschinen und Meßeinrichtungen ist es vorteilhaft, numerisch gesteuerte Maschinen mit Diskettenlaufwerk zu verwenden, die die Regelmatrix einlesen und interpretieren können.

Tabelle 1

Prinzipielle Form der Regelmatrix

Regel-Matrix	Verzahn- ritzel	Verzahn- tellerrad	Härten Ritzel	Härten Tellerrad	Hartfein- bearb. Ritzel	Hartfein- bearb. Tellerrad	Fertig- prüfung	Voriger Schritt	Nächster Schritt
Bearbeitung	0 - 3	0 - 3	0/1	0/1	0 - 3	0 - 3	0 - 4	0/1	0/1
Daten Bearbeit.	0 - N1	0 - N2	0 - N3	0 - N4	0 - N6	0 - N7	0 - N8	-	-
Laufprüfung	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1
Daten Laufprüf.	0 - M1	0 - M2	0 - M3	0 - M4	0 - M6	0 - M7	0 - M8	-	-
3-D - Messung	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1
Meisterrad Nr.	0 - L1	0 - L2	0 - L3	0 - L4	0 - L6	0 - L7	0 - L8	-	-
Auswertung	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1
Korrekturstand	0 - K1	0 - K2	0 - K3	0 - K4	0 - K6	0 - K7	0 - K8	-	-
Korr.- Adresse	0,1,2	0,1,2	0,1,2	0,1,2	0,1,2	0,1,2	0,1,2,3	-	-
Voriger Schritt	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	Nr. 0	-
Nächster Schr.	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	-	Nr. 1

Die erfindungsgemäße Herstellung eines Zahnradpaares wird in den folgenden, beispielhaften Verfahrensschritten beschrieben:

1. Tabelle 2 zeigt die beispielhaft belegte Regelmatrix zum Verzahnen eines Kegelradpaares. Die Matrix ist

vom Systemrechner bereits auf die ersten beiden Operationen, Schneiden von Ritzel und Tellerrad, vorbereitet. Die Regelmatrix bezieht das Rüsten der Werkzeuge in die Operation Verzahnen mit ein. Die beteiligten Maschinen, eine Messerprofil-Schleifmaschine, eine Einrichtung zum Aufrüsten der Fräser, eine Verzahnmaschine zum Schneiden des Ritzels und eine Verzahnmaschine zum Schneiden des Tellerrades sind Bestandteile der erfindungsgemäßen Vorrichtung. Das Verzahnen von Ritzel und Tellerrad kann parallel durchgeführt werden. Die Regelmatrix ist zusammen mit allen Datenbeständen auf einer Datendiskette gespeichert. Die Steuerungscomputer der Verzahnmaschinen lesen alle erforderlichen Einstelldaten und Steuervorgaben in Form von Datensätzen von der Systemdiskette, die in diesem Ausführungsbeispiel als datenmäßiges Verbindungselement gewählt wurde. Zur sicheren Funktion des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es sinnvoll die Systemdiskette nicht zu vervielfältigen, auch dann nicht, wenn an der Maschine zum Schneiden des Ritzels und an der Maschine zum Schneiden des Tellerrades an sich getrennte Disketten wünschenswert wären. Vielmehr soll die gleiche Diskette z. B. zuerst an der Maschine zum Schneiden des Ritzels und anschließend an der Maschine zum Schneiden des Tellerrades geladen werden, um zu gewährleisten, daß in ein und derselben Regelmatrix, von der stets nur ein aktueller Zustand existieren kann, beide Bearbeitungsschritte quittiert werden.

Tabelle 2

Regelmatrix für schneiden von Ritzel und Tellerrad

Regel-Matrix	Verzahn- nen Ritzel	Verzahn- nen Tellerrad	Härten Ritzel	Härten Tellerrad	Hartfein- bearb. Ritzel	Hartfein- bearb. Tellerrad	Fertig- prüfung	Voriger Schritt	Nächster Schritt
Bearbeitung	1	1	1	1	1	1	1	0	1
Daten Bearbeit	1	1	1	1	1	1	1	-	-
Laufprüfung	1	1	0	0	1	1	1	0	0
Daten Laufprüf	1	1	0	0	1	1	1	-	-
3-D - Messung	0	0	1	1	1	1	0	0	0
Meisterrad Nr.	1	1	1	1	1	1	0	-	-
Auswertung	1	1	1	1	1	1	1	0	0
Korrekturstand	0	0	0	0	0	0	0	-	-
Korr.- Adresse	1	1	1	1	1	2	3	-	-
Voriger Schritt	0	0	0	0	0	0	0	Nr. 0	-
Nächster Schr.	1	1	0	0	0	0	0	-	Nr. 1

2. Tabelle 3 zeigt die Regelmatrix nach dem Schneiden von Ritzel und Tellerrad. In der vorletzten Spalte "Voriger Schritt" ist nun die Kennziffer 1 auf "Bearbeiten" gesetzt, in der letzten Spalte "Nächster Schritt" ist die Kennziffer 1 auf "Laufprüfung" gesetzt. Die Kennziffer der Spalte "Nächster Schritt" wird für jede Operation schrittweise nach unten verschoben, wobei er denjenigen nächsten Schritt aktiviert, der bei der jeweiligen Operation als nächstes gesetzt ist. Diese Veränderung der Kennziffer zum nächsten Schritt wurde vom Steuerungscomputer der Verzahnmaschine des letzten Schrittes vorgenommen. Alle zuletzt veränderten Kennziffern sind in den Tabellen jeweils fett gedruckt. Die verwendete Laufprüfmaschine ist ein Bestandteil der erfindungsgemäßen Vorrichtung. Die Systemdiskette liefert der Laufprüfmaschine die Regelmatrix als Steuerdatensatz und alle Einstell- und Prüfdaten.



Tabelle 3

Lauf- und Tragbildprüfung von Ritzel und Tellerrad

Regel-Matrix	Verzah-nen Ritzel	Verzah-nen Tellerrad	Härten Ritzel	Härten Tellerrad	Hartfein-bearb. Ritzel	Hartfein-bearb. Tellerrad	Fertig-prüfung	Voriger Schritt	Nächster Schritt
Bearbeitung	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Daten Bearbeit	1	1	1	1	1	1	1	-	-
Laufprüfung	1	1	0	0	1	1	1	0	1
Daten Laufprüf	1	1	0	0	1	1	1	-	-
3-D - Messung	0	0	1	1	1	1	0	0	0
Meisterrad Nr.	1	1	1	1	1	1	0	-	-
Auswertung	1	1	1	1	1	1	1	0	0
Korrekturstand	0	0	0	0	0	0	0	-	-
Korr.- Adresse	1	1	1	1	1	2	3	-	-
Voriger Schritt	1	1	0	0	0	0	0	Nr. 1	-
Nächster Schr.	1	1	0	0	0	0	0	-	Nr. 2

Um dem Bedienpersonal die Vorgabe des nächsten Schrittes mit zuteilen, wird vom Systemrechner vor Beginn der Verzahnungsentwicklung ein vorläufiger Arbeitsplan ausgedruckt. Nach jedem Schritt einer jeden Operation kann die Systemdiskette in einen beliebigen Systemrechner eingelesen werden, um einen aktualisierten Arbeitsplan, der insbesondere die Information über den nächsten Schritt liefert, auszudrucken.

3. Nach der Laufprüfung der weichen Zahnräder wird der nächste aktivierte Schritt, "Auswertung"-vom Steuerungscomputer der Laufprüfmaschine gesetzt. Die Regelmatrix ist in Tabelle 4 dargestellt. Korrekturvorgaben sind Tragbildlage, -form und -größe, Verlagerungscharakteristik und eine Achskonfiguration für ein geräuschoptimiertes Abrollen (mit akustischen Kennwerten). Gewisse, intuitive Korrekturvorschläge (z. B. Tragbildlage und -form) können in einem Auswerteformular des Arbeitsplanes festgehalten und bei der Auswertung verwendet werden. Der Systemrechner ist ein beliebiger Personalcomputer, der die entsprechenden Computerprogramme zur Auswertung, Korrektur und Steuerung des erfindungsgemäßen Verfahrens gespeichert hat oder über eine Datenfernleitung auf Programme zugreift, die an einem zentralen Ort abgespeichert sind. Es ist von Vorteil, eine Fabrikationsanlage zur Verzahnungsentwicklung mit mehreren Systemrechnern auszustatten.

Tabelle 4

Korrekturberechnung für das weiche Ritzel

Regel-Matrix	Verzahn- nen Ritzel	Verzahn- nen Tellerrad	Härten Ritzel	Härten Tellerrad	Hartfein- bearb. Ritzel	Hartfein- bearb. Tellerrad	Fertig- prüfung	Voriger Schritt	Nächster Schritt
Bearbeitung	1	1	1	1	1	1	1	0	0
Daten Bearbeit	1	1	1	1	1	1	1	-	-
Laufprüfung	1	1	0	0	1	1	1	1	0
Daten Laufprüf	1	1	0	0	1	1	1	-	-
3-D - Messung	0	0	1	1	1	1	0	0	0
Meisterrad Nr.	1	1	1	1	1	1	0	-	-
Auswertung	1	1	1	1	1	1	1	0	1
Korrekturstand	0	0	0	0	0	0	0	-	-
Korr.- Adresse	1	1	1	1	1	2	3	-	-
Voriger Schritt	1	1	0	0	0	0	0	Nr. 2	-
Nächster Schr.	1	1	0	0	0	0	0	-	Nr. 3

4. Der Systemrechner liest die Regelmatrix, sowie die Korrekturvorgaben und alle gespeicherten Datenbestände ein. Der verwendete Personalcomputer ist Bestandteil der erfindungsgemäßen Vorrichtung. Die Regelmatrix ist nach der Korrekturberechnung auf das erneute Schneiden eines Ritzels eingestellt (Tabelle 5). Der Systemrechner hat einen neuen Datenstand für die Ritzelbearbeitung errechnet und den Zähler hierfür von 1 auf 2 verändert. Die Kennziffer "Korrekturstand" wurde für das Ritzel von 0 auf 1 gesetzt. Der Datenstand der Laufprüfeinrichtung wurde für Ritzel und Tellerrad von 1 auf 2 verändert, da beide miteinander abgerollt werden. Ebenfalls der Datenstand zur Koordinatenmessung "Meisterrad Nr." wurde für das Ritzel bei den Operationen Verzahnen, Härten und Hartfeinbearbeiten von 1 auf 2 verändert, da durch die Korrektur des Ritzels eine neue Flankenoberfläche aktuell ist. Die errechneten neuen Datenstände wurden auf der Systemdiskette abgespeichert.

Tabelle 5

Korrigiertes Ritzel schneiden

Regel-Matrix	Verzahn- nen Ritzel	Verzahn- nen Tellerrad	Härten Ritzel	Härten Tellerrad	Hartfein- bearb. Ritzel	Hartfein- bearb. Tellerrad	Fertig- prüfung	Voriger Schritt	Nächster Schritt
Bearbeitung	1	1	1	1	1	1	1	0	1
Daten Bearbeit	2	1	1	1	1	1	1	-	-
Laufprüfung	1	1	0	0	1	1	1	0	0
Daten Laufprüf	2	2	0	0	1	1	1	-	-
3-D - Messung	0	0	1	1	1	1	0	0	0
Meisterrad Nr.	2	1	2	1	2	1	0	-	-
Auswertung	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Korrekturstand	1	0	0	0	0	0	0	-	-
Korr.- Adresse	1	1	1	1	1	2	3	-	-
Voriger Schritt	1	1	0	0	0	0	0	Nr. 3	-
Nächster Schr.	1	0	0	0	0	0	0	-	Nr. 4

Das Verändern der Kennziffern und Zähler in den ersten sieben Spalten und der ersten neun Zeilen der Regelmatrix ist dem Systemrechner vorbehalten. Nur die Kenner der letzten zwei Spalten und der letzten zwei Zeilen werden von allen beteiligten Maschinen, Prüfeinrichtungen und vom Systemrechner zum nächsten Schritt vorbereitet.

5. Die Verzahnmaschine übernimmt ihre geänderten Einstelldaten vom entsprechenden Datensatz der Systemdiskette. Nach dem Schneiden des korrigierten Ritzels wird der Kenner für den nächsten Schritt vom Steuerungsrechner der Ritzelschneidmaschine auf die Laufprüfung eingestellt. Tabelle 3 zeigt die Regelmatrix für diesen Fall. Prüfkriterien auf der Laufprüfmaschine sind stets die Tragbildlage und -form, die Verlagerungscharakteristik der Tragbilder bei Veränderung der Achslagen und die Schallpegel als Funktion der Tragbildlagen (akustische Kennwerte).

Tabelle 6

## Zweite Lauf- und Tragbildprüfung

Regel-Matrix	Verzahn- nen Ritzel	Verzahn- nen Tellerrad	Härten Ritzel	Härten Tellerrad	Hartfein- bearb. Ritzel	Hartfein- bearb. Tellerrad	Fertig- prüfung	Voriger Schritt	Nächster Schritt
Bearbeitung	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Daten Bearbeit	2	1	1	1	1	1	1	-	-
Laufprüfung	1	1	0	0	1	1	1	0	1
Daten Laufprüf	2	2	0	0	1	1	1	-	-
3-D - Messung	0	0	1	1	1	1	0	0	0
Meisterrad Nr.	2	1	2	1	2	1	0	-	-
Auswertung	1	1	1	1	1	1	1	0	0
Korrekturstand	1	0	0	0	0	0	0	-	-
Korr.- Adresse	1	1	1	1	1	2	3	-	-
Voriger Schritt	1	1	0	0	0	0	0	Nr. 4	-
Nächster Schr.	1	1	0	0	0	0	0	-	Nr. 5

6. Die Laufprüfmaschine aktualisiert ihre Einstell- und Prüfdaten durch Einlesen des entsprechenden Datensatzes von der Systemdiskette. Nach der Laufprüfung stellt der Steuerungscomputer der Prüfmaschine die Regelmatrix auf eine weitere Korrekturberechnung ("Auswertung") ein. Das aktuelle Aussehen der Regelmatrix ist in Tabelle 7 gezeigt.

Tabelle 7

## Zweite Korrekturberechnung

Regel-Matrix	Verzahn- ritzel	Verzahn- tellerrad	Härten Ritzel	Härten Tellerrad	Hartfein- bearb. Ritzel	Hartfein- bearb. Tellerrad	Fertig- prüfung	Voriger Schritt	Nächster Schritt
Bearbeitung	1	1	1	1	1	1	1	0	0
Daten Bearbeit	2	1	1	1	1	1	1	-	-
Laufprüfung	1	1	0	0	1	1	1	1	0
Daten Laufprüf	2	2	0	0	1	1	1	-	-
3-D - Messung	0	0	1	1	1	1	0	0	0
Meisterrad Nr.	2	1	2	1	2	1	0	-	-
Auswertung	1	1	1	1	1	1	1	0	1
Korrekturstand	1	0	0	0	0	0	0	-	-
Korr.- Adresse	1	1	1	1	1	2	3	-	-
Voriger Schritt	1	1	0	0	0	0	0	Nr. 5	-
Nächster Schr.	1	0	0	0	0	0	0	-	Nr. 6

7. Die zweite Korrekturberechnung am Systemrechner lieferte als Resultat, daß keine weitere Korrektur der Weichverzahnung mehr erforderlich ist. Der Systemrechner hat nun "3-D-Messung" in der Regelmatrix aktiviert und als nächsten Schritt gesetzt. Tabelle 8 zeigt das aktuelle Aussehen der Regelmatrix.

Tabelle 8

## Koordinatenmessung des in der Laufprüfung für gut befundenen Weichradsatzes

Regel-Matrix	Verzahn- ritzel	Verzahn- tellerrad	Härten Ritzel	Härten Tellerrad	Hartfein- bearb. Ritzel	Hartfein- bearb. Tellerrad	Fertig- prüfung	Voriger Schritt	Nächster Schritt
Bearbeitung	1	1	1	1	1	1	1	0	0
Daten Bearbeit	2	1	1	1	1	1	1	-	-
Laufprüfung	1	1	0	0	1	1	1	0	0
Daten Laufprüf	2	2	0	0	1	1	1	-	-
3-D - Messung	1	1	1	1	1	1	0	0	1
Meisterrad Nr.	2	1	2	1	2	1	0	-	-
Auswertung	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Korrekturstand	1	0	0	0	0	0	0	-	-
Korr.- Adresse	1	1	1	1	1	2	3	-	-
Voriger Schritt	1	1	0	0	0	0	0	Nr. 6	-
Nächster Schr.	1	1	0	0	0	0	0	-	Nr. 7

8. Der Steuerungscomputer des Koordinatenmeßgerätes überträgt von der Systemdiskette die aktuellen Meisterräder als Datenfiles in seinen internen Speicherbereich. Um die Ergebnisdaten der Koordinatenmessung auszuwerten, stellt der Steuerungscomputer des Koordinatenmeßgerätes die Regelmatrix im nächsten Schritt auf eine Auswertung ein. Die entsprechende Regelmatrix zeigt Tabelle 9. Das verwendete Koordinatenmeßgerät ist ein Bestandteil der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

# DE 43 42 648 A1

Tabelle 9

## Auswertung der Koordinatenmessung

Regel-Matrix	Verzahn- ritzel	Verzahn- tellerrad	Härten ritzel	Härten tellerrad	Hartfein- bearb. ritzel	Hartfein- bearb. tellerrad	Fertig- prüfung	Voriger Schritt	Nächster Schritt
Bearbeitung	1	1	1	1	1	1	1	0	0
Daten Bearbeit	2	1	1	1	1	1	1	-	-
Laufprüfung	1	1	0	0	1	1	1	0	0
Daten Laufprüf	2	2	0	0	1	1	1	-	-
3-D - Messung	1	1	1	1	1	1	0	1	0
Meisterrad Nr.	2	1	2	1	2	1	0	-	-
Auswertung	1	1	1	1	1	1	1	0	1
Korrekturstand	1	0	0	0	0	0	0	-	-
Korr.- Adresse	1	1	1	1	1	2	3	-	-
Voriger Schritt	1	1	0	0	0	0	0	Nr. 7	-
Nächster Schr.	1	1	0	0	0	0	0	-	Nr. 8

Die Meßresultate werden nicht zur Korrektur verwendet, sondern dokumentieren den Istzustand der guten Weichzahnäder. Da der Istzustand stets von der theoretischen Berechnung abweicht, hier jedoch mit dem erwünschten Sollzustand übereinstimmt, wird der Istzustand als neues Meisterrad Nr. 3 für das Ritzel und Meisterrad Nr. 2 für das Tellerrad definiert. Der Datenstand der Meisterräder ändert sich beim Ritzel dadurch von 2 auf 3, beim Tellerrad von 1 auf 2, was bei den Operationen Verzahnen, Härten und Hartfeinbearbeiten eingetragen wird.

9. Der Systemrechner stellt als nächster Schritt die Operation Härten von Ritzel und Tellerrad ein. Tabelle 10 zeigt die neue Regelmatrix. Der Begriff "Härten" wird hier stellvertretend für eine beliebige Wärmebehandlung verwendet. Die Härteanlage ist ein Bestandteil der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

Tabelle 10

## Härten von Ritzel und Tellerrad

Regel-Matrix	Verzahn- ritzel	Verzahn- tellerrad	Härten ritzel	Härten tellerrad	Hartfein- bearb. ritzel	Hartfein- bearb. tellerrad	Fertig- prüfung	Voriger Schritt	Nächster Schritt
Bearbeitung	1	1	1	1	1	1	1	0	1
Daten Bearbeit	2	1	1	1	1	1	1	-	-
Laufprüfung	1	1	0	0	1	1	1	0	0
Daten Laufprüf	2	2	0	0	1	1	1	-	-
3-D - Messung	1	1	1	1	1	1	0	0	0
Meisterrad Nr.	3	2	3	2	3	2	0	-	-
Auswertung	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Korrekturstand	1	0	0	0	0	0	0	-	-
Korr.- Adresse	1	1	1	1	1	2	3	-	-
Voriger Schritt	1	1	0	0	0	0	0	Nr. 8	-
Nächster Schr.	0	0	1	1	0	0	0	-	Nr. 9

10. Da es sich bei der Härteanlage nicht um eine numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine handelt, wird die Systemdiskette nach dem das Härten erfolgt ist, am Systemrechner auf den nächsten Schritt vorbereitet. Tabelle 11 zeigt dies mit Härten von Ritzel und Tellerrad als letzter Schritt und 3-D-Messung von Ritzel und Tellerrad als nächster Schritt.

Tabelle 11

Koordinatenmessung von Ritzel und Tellerrad nach dem Härten

Regel-Matrix	Verzahn- Ritzel	Verzahn- Tellerrad	Härten Ritzel	Härten Tellerrad	Hartfein- bearb. Ritzel	Hartfein- bearb. Tellerrad	Fertig- prüfung	Voriger Schritt	Nächster Schritt
Bearbeitung	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Daten Bearbeit	2	1	1	1	1	1	1	-	-
Laufprüfung	1	1	0	0	1	1	1	0	0
Daten Laufprüf	2	2	0	0	1	1	1	-	-
3-D - Messung	1	1	1	1	1	1	0	0	1
Meisterrad Nr.	3	2	3	2	3	2	0	-	-
Auswertung	1	1	1	1	1	1	1	0	0
Korrekturstand	1	0	0	0	0	0	0	-	-
Korr.- Adresse	1	1	1	1	1	2	3	-	-
Voriger Schritt	0	0	1	1	0	0	0	Nr. 9	-
Nächster Schr.	0	0	1	1	0	0	0	-	Nr. 10

11. Die Verzüge bzw. Flankenformveränderungen durch das Härten werden die Eigenschaften des weichopti-  
mierten Radsatzes nachteilig verändern. Die Messung der zuletzt verzahnten Radpaarung hatte auch den  
Zweck, den genauen Vergleich der Flankengeometrie weich — hart zu ermöglichen. Die Auswertung am  
Systemrechner nach Tabelle 12 berechnet aus dem systematischen Anteil der Härteverzüge eine Vorhaltekor-  
rektur für die Weichverzahnung. Da die Kennziffer der Korrekturadressen auf 1 für Ritzel steht werden die  
Verzüge von Ritzel und Tellerrad beide rechnerisch auf das Ritzel bezogen, wodurch zur Kompensation aller  
Härteverzüge nur die Vorkorrektur des weichen Ritzels nötig wird. Das Umrechnen der Korrekturen ist  
prinzipiell möglich und liefert bei nicht zu großen Härteverzügen nahezu das gleiche Ergebnis, wie eine  
Korrektur von Ritzel und Tellerrad. Werden große Härteverzüge erwartet, dann kann bei der Vorbereitung der  
Regelmatrix für das Tellerrad die Korrekturadresse 2 (also Tellerrad) gewählt werden.

Tabelle 12

Auswertung der Koordinatenmessung nach dem Härten

Regel-Matrix	Verzahn- Ritzel	Verzahn- Tellerrad	Härten Ritzel	Härten Tellerrad	Hartfein- bearb. Ritzel	Hartfein- bearb. Tellerrad	Fertig- prüfung	Voriger Schritt	Nächster Schritt
Bearbeitung	1	1	1	1	1	1	1	0	0
Daten Bearbeit	2	1	1	1	1	1	1	-	-
Laufprüfung	1	1	0	0	1	1	1	0	0
Daten Laufprüf	2	2	0	0	1	1	1	-	-
3-D - Messung	1	1	1	1	1	1	0	1	0
Meisterrad Nr.	3	2	3	2	3	2	0	-	-
Auswertung	1	1	1	1	1	1	1	0	1
Korrekturstand	1	0	0	0	0	0	0	-	-
Korr.- Adresse	1	1	1	1	1	2	3	-	-
Voriger Schritt	0	0	1	1	0	0	0	Nr. 10	-
Nächster Schr.	0	0	1	1	0	0	0	-	Nr. 11

12. Die Regelmatrix, wie sie auf das Schneiden eines vorkorrigierten Ritzels vorbereitet ist, zeigt Tabelle 13. Der Datenstand für das Ritzelverzahn hat sich von 2 auf 3 verändert. Das Meisterrad zum Ritzelverzahn wurde von 3 auf 4 verändert. Für die Härteoperation ändern sich die Meisterräder für Ritzel und Tellerrad ebenfalls, wobei das existierende gehärtete Tellerrad zum Meisterrad definiert wurde, indem alle Abweichungen durch ein geändertes Ritzel kompensiert werden. Als Ritzel — Meisterrad wird das korrigierte Ritzel, unter Berücksichtigung der Härteverzüge, definiert. Die Meisterräder der Hartfeinbearbeitungsoperationen werden ebenfalls ausgetauscht (hochzählen der beiden Kennziffern). Sie entsprechen damit wieder den Meisterrädern nach dem Härten. In einem Dialog am Systemrechner kann der Bediener eingeben, daß für das vorkorrigierte Ritzel keine Tragbildprüfung und keine 3-D-Messung mehr erfolgen soll. Die entsprechenden Kennziffern werden auf 0 eingestellt. In diesem Falle wird auch die Auswertung mit der Kennziffer 0 abgeschaltet.

Tabelle 13

Verzahn eines vorkorrigierten Ritzels

Regel-Matrix	Verzahn- Ritzel	Verzahn- Tellerrad	Härten Ritzel	Härten Tellerrad	Hartfein- bearb. Ritzel	Hartfein- bearb. Tellerrad	Fertig- prüfung	Voriger Schritt	Nächster Schritt
Bearbeitung	1	1	1	1	1	1	1	0	1
Daten Bearbeit	3	1	1	1	1	1	1	-	-
Laufprüfung	0	0	0	0	1	1	1	0	0
Daten Laufprüf	2	2	0	0	1	1	1	-	-
3-D - Messung	0	0	1	1	1	1	0	0	0
Meisterrad Nr.	4	2	4	3	4	3	0	-	-
Auswertung	0	0	1	1	1	1	1	1	0
Korrekturstand	2	0	1	0	0	0	0	-	-
Korr.- Adresse	1	1	1	1	1	2	3	-	-
Voriger Schritt	0	0	1	1	0	0	0	Nr. 11	-
Nächster Schr.	1	0	0	0	0	0	0	-	Nr. 12

# DE 43 42 648 A1

13. Der Steuerungscomputer der Verzahnmaschine bezieht seine neuen Einstelldaten zum Schneiden eines vorkorrigierten Ritzels von der Systemdiskette und bereitet die Regelmatrix auf ein erneutes Härten des Ritzels vor, wie sie in Tabelle 14 abgebildet ist.

Tabelle 14

Erneutes Härten des vorkorrigierten Ritzels

Regel-Matrix	Verzahn- nen Ritzel	Verzahn- nen Tellerrad	Härten Ritzel	Härten Tellerrad	Hartfein- bearb. Ritzel	Hartfein- bearb. Tellerrad	Fertig- prüfung	Voriger Schritt	Nächster Schritt
Bearbeitung	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Daten Bearbeit	3	1	1	1	1	1	1	-	-
Laufprüfung	0	0	0	0	1	1	1	0	0
Daten Laufprüf	2	2	0	0	1	1	1	-	-
3-D - Messung	0	0	1	1	1	1	0	0	0
Meisterrad Nr.	4	2	4	3	4	3	0	-	-
Auswertung	0	0	1	1	1	1	1	0	0
Korrekturstand	2	0	1	0	0	0	0	-	-
Korr.- Adresse	1	1	1	1	1	2	3	-	-
Voriger Schritt	1	0	0	0	0	0	0	Nr. 12	-
Nächster Schr.	0	0	1	0	0	0	0	-	Nr. 13

14. Anstelle der Härteanlage übernimmt der Systemrechner nach dem Härten die Vorbereitung der Regelmatrix für den nächsten Schritt, die Koordinatenmessung des vorkorrigierten, gehärteten Ritzels, gegen Meisterrad (Operation Härten) Nr. 4. Tabelle 15 zeigt die entsprechende Einstellung der Regelmatrix.

Tabelle 15

Koordinatenmessung des neu gehärteten Ritzels

Regel-Matrix	Verzahn- nen Ritzel	Verzahn- nen Tellerrad	Härten Ritzel	Härten Tellerrad	Hartfein- bearb. Ritzel	Hartfein- bearb. Tellerrad	Fertig- prüfung	Voriger Schritt	Nächster Schritt
Bearbeitung	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Daten Bearbeit	3	1	1	1	1	1	1	-	-
Laufprüfung	0	0	0	0	1	1	1	0	0
Daten Laufprüf	2	2	0	0	1	1	1	-	-
3-D - Messung	0	0	1	1	1	1	0	0	1
Meisterrad Nr.	4	2	4	3	4	3	0	-	-
Auswertung	0	0	1	1	1	1	1	0	0
Korrekturstand	2	0	1	0	0	0	0	-	-
Korr.- Adresse	1	1	1	1	1	2	3	-	-
Voriger Schritt	0	0	1	0	0	0	0	Nr. 13	-
Nächster Schr.	0	0	1	0	0	0	0	-	Nr. 14

15. Das Koordinatenmeßgerät bezieht das neue "Weichmeisterrad" Nr. 4 durch Einlesen des entsprechenden Datenfiles der Systemdiskette. Die Regelmatrix wird vom Steuerungsrechner des Koordinatenmeßgerätes auf



# DE- 43 42 648 A1

Auswertung dieser Messung am Systemrechner (Tabelle 16) eingestellt.

Tabelle 16

Auswertung der Koordinatenmessung des Ritzels am Systemrechner

Regel-Matrix	Verzahn- ritzel	Verzahn- tellerrad	Härten Ritzel	Härten Tellerrad	Hartfein- bearb. Ritzel	Hartfein- bearb. Tellerrad	Fertig- prüfung	Voriger Schritt	Nächster Schritt
Bearbeitung	1	1	1	1	1	1	1	0	0
Daten Bearbeit	3	1	1	1	1	1	1	-	-
Laufprüfung	0	0	0	0	1	1	1	0	0
Daten Laufprüf	2	2	0	0	1	1	1	-	-
3-D - Messung	0	0	1	1	1	1	0	1	0
Meisterrad Nr.	4	2	4	3	4	3	0	-	-
Auswertung	0	0	1	1	1	1	1	0	1
Korrekturstand	2	0	1	0	0	0	0	-	-
Korr.- Adresse	1	1	1	1	1	2	3	-	-
Voriger Schritt	0	0	1	0	0	0	0	Nr. 14	-
Nächster Schr.	0	0	1	0	0	0	0	-	Nr. 15

16. Da im vorliegenden Beispiel keine weitere Korrektur erforderlich ist, wird die Regelmatrix nach der Auswertung auf die nächste Operation, das Hartfeinbearbeiten von Ritzel und Tellerrad, eingestellt (Tabelle 17). Als Feinbearbeitungsverfahren kommen Läppen, Schleifen oder Honen in Betracht. In diesem Beispiel wurde Schleifen als Feinbearbeitung gewählt. Falls in einer Entwicklungsanlage mehrere Feinbearbeitungsverfahren parallel angewandt werden, ist es sinnvoll, die Regelmatrix zu erweitern und alle relevanten Feinbearbeitungsverfahren getrennt auszuweisen.

Tabelle 17

Hartfeinbearbeiten von Ritzel und Tellerrad

Regel-Matrix	Verzahn- ritzel	Verzahn- tellerrad	Härten Ritzel	Härten Tellerrad	Hartfein- bearb. Ritzel	Hartfein- bearb. Tellerrad	Fertig- prüfung	Voriger Schritt	Nächster Schritt
Bearbeitung	1	1	1	1	1	1	1	0	1
Daten Bearbeit	3	1	1	1	1	1	1	-	-
Laufprüfung	0	0	0	0	1	1	1	0	0
Daten Laufprüf	2	2	0	0	1	1	1	-	-
3-D - Messung	0	0	1	1	1	1	0	0	0
Meisterrad Nr.	4	2	4	3	4	3	0	-	-
Auswertung	0	0	1	1	1	1	1	1	0
Korrekturstand	2	0	1	0	0	0	0	-	-
Korr.- Adresse	1	1	1	1	1	2	3	-	-
Voriger Schritt	0	0	1	0	0	0	0	Nr. 15	-
Nächster Schr.	0	0	0	0	1	1	0	-	Nr. 16

17. Das Schleifen von Ritzel und Tellerrad kann parallel auf verschiedenen Maschinen erfolgen. Die verwendete Kegelradschleifmaschine ist ein Bestandteil der erfindungsgemäßen Vorrichtung. Der Steuerungscomputer der Schleifmaschine liest alle erforderlichen Daten von der Systemdiskette und stellt die Regelmatrix nach erfolgtem Schleifen auf den nächsten Schritt, die Koordinatenmessung von Ritzel bzw. Tellerrad, ein. Im Unterschied zu den Weichoperationen erfolgt nach der Hartbearbeitung normalerweise zuerst die Koordinatenmessung, anschließend entsprechende Korrekturschritte und danach als abschließender Test die Laufprüfung (wenn beide Kennziffern aktiviert sind). Diese Prüfstrategie kann vom Bediener bei der Erstellung der Systemdiskette auch geändert werden. Die Regelmatrix nach dem Schleifen ist in Tabelle 18 dargestellt.

Tabelle 18

Koordinatenmessung der geschliffenen Zahnradpaarung

Regel-Matrix	Verzahn- en Ritzel	Verzahn- en Tellerrad	Härten Ritzel	Härten Tellerrad	Hartfein- bearb. Ritzel	Hartfein- bearb. Tellerrad	Fertig- prüfung	Voriger Schritt	Nächster Schritt
Bearbeitung	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Daten Bearbeit	3	1	1	1	1	1	1	-	-
Laufprüfung	0	0	0	0	1	1	1	0	0
Daten Laufprüf	2	2	0	0	1	1	1	-	-
3-D - Messung	0	0	1	1	1	1	0	0	1
Meisterrad Nr.	4	2	4	3	4	3	0	-	-
Auswertung	0	0	1	1	1	1	1	0	0
Korrekturstand	2	0	1	0	0	0	0	-	-
Korr.- Adresse	1	1	1	1	1	2	3	-	-
Voriger Schritt	0	0	0	0	1	1	0	Nr. 16	-
Nächster Schr.	0	0	0	0	1	1	0	-	Nr. 17

18. Die Koordinatenmessung erfolgte gegen die Meisterräder der Hartfeinbearbeitungsoperation Nr. 4 für Ritzel und Nr. 3 für Tellerrad, die als Datenfiles von der Systemdiskette zum Koordinatenmeßgerät übertragen wurden. Der Steuerungscomputer des Koordinatenmeßgerätes stellt nach erfolgter Messung von Ritzel und Tellerrad die Regelmatrix, wie in Tabelle 19 gezeigt, auf die Auswertung der Messung ein. Die Abweichungswerte wurden nach erfolgter Messung auf die Systemdiskette übertragen.

# DE 43 42 648 A1

Tabelle 19

Auswertung der Koordinatenmessung nach dem Schleifen

Regel-Matrix	Verzahn- ritzel	Verzahn- tellerrad	Härten ritzel	Härten tellerrad	Hartfein- bearb. ritzel	Hartfein- bearb. tellerrad	Fertig- prüfung	Voriger Schritt	Nächster Schritt
Bearbeitung	1	1	1	1	1	1	1	0	0
Daten Bearbeit	3	1	1	1	1	1	1	-	-
Laufprüfung	0	0	0	0	1	1	1	0	0
Daten Laufprüf	2	2	0	0	1	1	1	-	-
3-D - Messung	0	0	1	1	1	1	0	1	0
Meisterrad Nr.	4	2	4	3	4	3	0	-	-
Auswertung	0	0	1	1	1	1	1	0	1
Korrekturstand	2	0	1	0	0	0	0	-	-
Korr.- Adresse	1	1	1	1	1	2	3	-	-
Voriger Schritt	0	0	0	0	1	1	0	Nr. 17	-
Nächster Schr.	0	0	0	0	1	1	0	-	Nr. 18

19. Der Systemrechner stellt bei der Auswertung in diesem Beispiel Abweichungen an Ritzel und Tellerrad fest, die nicht akzeptabel sind. Da die Kennziffer der Korrekturadresse für die Operation Hartfeinbearbeitung beim Ritzel auf 1 und beim Tellerrad auf 2 eingestellt ist, werden die Ritzelabweichungen am Ritzel und die Tellerradabweichungen am Tellerrad korrigiert. Die Kennziffern des Korrekturstandes ändern sich bei der Hartfeinbearbeitungsoperation für Ritzel und Tellerrad von 0 auf 1, die Kennziffern für den "Datenstand Bearbeitung" ändern sich von 1 auf 2. Neue Maschinensteuerdaten werden auf der Systemdiskette abgespeichert. Die Regelmatrix wird auf ein erneutes Schleifen eines korrigierten Ritzels und eines korrigierten Tellerrades eingestellt (Tabelle 20). Die Meisterräder haben sich nach der letzten Korrektur nicht geändert, die den Sinn hatte die momentan gültigen Meisterräder der Operation Schleifen besser anzunähern.

Tabelle 20

Erneutes Schleifen eines korrigierten Ritzels und eines korrigierten Tellerrades

Regel-Matrix	Verzahn- ritzel	Verzahn- tellerrad	Härten ritzel	Härten tellerrad	Hartfein- bearb. ritzel	Hartfein- bearb. tellerrad	Fertig- prüfung	Voriger Schritt	Nächster Schritt
Bearbeitung	1	1	1	1	1	1	1	0	1
Daten Bearbeit	3	1	1	1	2	2	1	-	-
Laufprüfung	0	0	0	0	1	1	1	0	0
Daten Laufprüf	2	2	0	0	1	1	1	-	-
3-D - Messung	0	0	1	1	1	1	0	0	0
Meisterrad Nr.	4	2	4	3	4	3	0	-	-
Auswertung	0	0	1	1	1	1	1	1	0
Korrekturstand	2	0	1	0	1	1	0	-	-
Korr.- Adresse	1	1	1	1	1	2	3	-	-
Voriger Schritt	0	0	0	0	1	1	0	Nr. 18	-
Nächster Schr.	0	0	0	0	1	1	0	-	Nr. 19

20. Die Steuerungscomputer der Schleifmaschinen für die Ritzel- und Tellerradbearbeitung lesen von der Systemdiskette ihre geänderten Einstelldaten und stellen jeweils nach der Bearbeitungsoperation die Kennziffern für den nächsten Schritt, die Messung auf dem Koordinatenmeßgerät, ein.

Tabelle 21

Zweite Koordinatenmessung der geschliffenen Zahnradpaarung

Regel-Matrix	Verzahn- en Ritzel	Verzahn- en Tellerrad	Härten Ritzel	Härten Tellerrad	Hartfein- bearb. Ritzel	Hartfein- bearb. Tellerrad	Fertig- prüfung	Voriger Schritt	Nächster Schritt
Bearbeitung	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Daten Bearbeit	3	1	1	1	2	2	1	-	-
Laufprüfung	0	0	0	0	1	1	1	0	0
Daten Laufprüf	2	2	0	0	1	1	1	-	-
3-D - Messung	0	0	1	1	1	1	0	0	1
Meisterrad Nr.	4	2	4	3	4	3	0	-	-
Auswertung	0	0	1	1	1	1	1	0	0
Korrekturstand	2	0	1	0	1	1	0	-	-
Korr.- Adresse	1	1	1	1	1	2	3	-	-
Voriger Schritt	0	0	0	0	1	1	0	Nr. 19	-
Nächster Schr.	0	0	0	0	1	1	0	-	Nr. 20

21. Der Steuerungscomputer des Koordinatenmeßgerätes überträgt die gemessenen Abweichungen zwischen dem Hartfein - Meisterrad Nr. 3 des Ritzels und Nr. 1 des Tellerrades auf die Systemdiskette und stellt die Regelmatrix auf eine Auswertung der Resultate ein.

Tabelle 22

Auswertung der zweiten Koordinatenmessung der geschliffenen Zahnradpaarung

Regel-Matrix	Verzahn- en Ritzel	Verzahn- en Tellerrad	Härten Ritzel	Härten Tellerrad	Hartfein- bearb. Ritzel	Hartfein- bearb. Tellerrad	Fertig- prüfung	Voriger Schritt	Nächster Schritt
Bearbeitung	1	1	1	1	1	1	1	0	0
Daten Bearbeit	3	1	1	1	2	2	1	-	-
Laufprüfung	0	0	0	0	1	1	1	0	0
Daten Laufprüf	2	2	0	0	1	1	1	-	-
3-D - Messung	0	0	1	1	1	1	0	1	0
Meisterrad Nr.	4	2	4	3	4	3	0	-	-
Auswertung	0	0	1	1	1	1	1	0	1
Korrekturstand	2	0	1	0	1	1	0	-	-
Korr.- Adresse	1	1	1	1	1	2	3	-	-
Voriger Schritt	0	0	0	0	1	1	0	Nr. 20	-
Nächster Schr.	0	0	0	0	1	1	0	-	Nr. 21

22. Nach dem Einlesen der Flankenabweichungen der letzten Koordinatenmessung von der Systemdiskette durch den Systemrechner, wird festgestellt, daß keine weitere Korrektur mehr notwendig ist. Der Systemrech-

ner stellt daraufhin den nächsten Schritt, das Laufprüfen der geschliffenen Zahnradpaarung, ein. Die Laufprüfung hat in diesem Stadium der Bearbeitung den Sinn, Tragbildform und -lage, das Verhalten mit verlagerten Achsen, sowie die Abrollgeräusche der gehärteten und feinbearbeiteten Zahnräder zu ermitteln. Auf der Systemdiskette besteht die Möglichkeit Erkenntnisse von ähnlichen, bekannten Verzahnungen in Form von Grenzwerten für Tragbildlagen und Schallpegel zu speichern und als Kriterium für die Auswertung der Laufprüfung heranzuziehen. Die Laufprüfung der geschliffenen Zahnradpaarung kann in Ergänzung oder alternativ zur Fertigprüfung in einem Testfahrzeug erfolgen.

Tabelle 23

## Laufprüfung der geschliffenen Zahnradpaarung

Regel-Matrix	Verzahn- nen Ritzel	Verzahn- nen Tellerrad	Härten Ritzel	Härten Tellerrad	Hartfein- bearb. Ritzel	Hartfein- bearb. Tellerrad	Fertig- prüfung	Voriger Schritt	Nächster Schritt
Bearbeitung	1	1	1	1	1	1	1	0	0
Daten Bearbeit	3	1	1	1	2	2	1	-	-
Laufprüfung	0	0	0	0	1	1	1	0	1
Daten Laufprüf	2	2	0	0	1	1	1	-	-
3-D - Messung	0	0	1	1	1	1	0	0	0
Meisterrad Nr.	4	2	4	3	4	3	0	-	-
Auswertung	0	0	1	1	1	1	1	1	0
Korrekturstand	2	0	1	0	1	1	0	-	-
Korr.- Adresse	1	1	1	1	1	2	3	-	-
Voriger Schritt	0	0	0	0	1	1	0	Nr. 21	-
Nächster Schr.	0	0	0	0	1	1	0	-	Nr. 22

23. Der Steuerungscomputer der Laufprüfmaschine liest von der Systemdiskette seine Einstell- und Prüfdaten ein und speichert nach der Prüfung die Resultate auf der Systemdiskette. Anschließend bereitet er die Regelmatrix durch Setzen der Kennziffer für die Auswertung auf den nächsten Schritt vor (Tabelle 24). Der Bediener der Laufprüfmaschine hat die Möglichkeit subjektive Bewertungsangaben und Tragbildabzüge zusammen mit der Systemdiskette und dem Arbeitsplan zur Auswertung weiterzugeben. Dadurch kann der Dialog am Systemrechner und die Vorgaben des nächsten Schrittes positiv beeinflusst werden. Die Eingabedateien der Laufprüfung feinbearbeiteter Zahnräder können so eingestellt werden, daß auch hier — wie bei der Weichoptimierung — Achsverschiebungen und akustische Kennwerte für eine eventuelle Optimierung ermittelt werden. Dies ist insbesondere dann sinnvoll, wenn keine anschließende Fertigprüfung in einem Testfahrzeug erfolgen soll.

# DE 43 42 648 A1

Tabelle 24

Auswertung der Laufprüfung der geschliffenen Zahnradpaarung

Regel-Matrix	Verzahn- ritzel	Verzahn- tellerrad	Härten Ritzel	Härten Tellerrad	Hartfein- bearb. Ritzel	Hartfein- bearb. Tellerrad	Fertig- prüfung	Voriger Schritt	Nächster Schritt
Bearbeitung	1	1	1	1	1	1	1	0	0
Daten Bearbeit	3	1	1	1	2	2	1	-	-
Laufprüfung	0	0	0	0	1	1	1	1	0
Daten Laufprüf	2	2	0	0	1	1	1	-	-
3-D - Messung	0	0	1	1	1	1	0	0	0
Meisterrad Nr.	4	2	4	3	4	3	0	-	-
Auswertung	0	0	1	1	1	1	1	0	1
Korrekturstand	2	0	1	0	1	1	0	-	-
Korr.- Adresse	1	1	1	1	1	2	3	-	-
Voriger Schritt	0	0	0	0	1	1	0	Nr. 22	-
Nächster Schr.	0	0	0	0	1	1	0	-	Nr. 23

24. Die Auswertung am Systemrechner greift auf die Ergebnisdaten der Laufprüfung zu, die teilweise auf der Systemdiskette gespeichert sind und teilweise vom Bediener im Dialog eingegeben werden. Als Vergleichskriterium dienen Grenzwerte von Tragbildverhalten und Frequenzpegeln bekannter, bereits hergestellter Getriebe, sowie die subjektive Beurteilung der Laufprüfung. Falls kein zufriedenstellendes Ergebnis vorliegt, muß mit geänderten Daten z. B. die Operation Schleifen des Ritzels mit anschließender Koordinatenmessung, Korrektur, erneuter Koordinatenmessung bis zur Laufprüfung wiederholt werden. Hier wird von einem Ergebnis innerhalb der Toleranzen ausgegangen. Für eine allgemeine Anwendung des Kegelradgetriebes endet der Herstellprozeß der Musterverzahnung an dieser Stelle. Für eine Anwendung im Automobilbau ist eine Fertigprüfung mit realen Bedingungen erforderlich. Der Systemrechner bereitet daher die Regelmatrix, wie in Tabelle 25 gezeigt, auf den nächsten Schritt, die Fertigprüfung der Zahnradpaarung in einem Testfahrzeug, vor.

Tabelle 25

Fertigprüfung in einem Testfahrzeug

Regel-Matrix	Verzahn- ritzel	Verzahn- tellerrad	Härten Ritzel	Härten Tellerrad	Hartfein- bearb. Ritzel	Hartfein- bearb. Tellerrad	Fertig- prüfung	Voriger Schritt	Nächster Schritt
Bearbeitung	1	1	1	1	1	1	1	0	1
Daten Bearbeit	3	1	1	1	2	2	1	-	-
Laufprüfung	0	0	0	0	1	1	1	0	0
Daten Laufprüf	2	2	0	0	1	1	1	-	-
3-D - Messung	0	0	1	1	1	1	0	0	0
Meisterrad Nr.	4	2	4	3	4	3	0	-	-
Auswertung	0	0	1	1	1	1	1	1	0
Korrekturstand	2	0	1	0	1	1	0	-	-
Korr.- Adresse	1	1	1	1	1	2	3	-	-
Voriger Schritt	0	0	0	0	1	1	0	Nr. 23	-
Nächster Schr.	0	0	0	0	0	0	1	-	Nr. 24

25. Im Testfahrzeug werden subjektive Bewertungen vom Testfahrer, sowie objektive Messungen des Körperschalls vorgenommen. Zur Unterstützung der subjektiven Bewertung sieht der Arbeitsplan eine Tabelle für handschriftliche Einträge vor. Zur Unterstützung der Messungen liest ein Analysecomputer Daten von der Systemdiskette ein. Das Testfahrzeug ist ein Bestandteil der erfindungsgemäßen Vorrichtung. Nach erfolgter Testfahrt speichert der Analysecomputer die Meßergebnisse in Form von akustischen Kennwerten auf die Systemdiskette und bereitet die Regelmatrix auf den nächsten Schritt, die Auswertung der Fertigprüfung, vor (Tabelle 26).

Tabelle 26

Auswertung der Fertigprüfung

Regel-Matrix	Verzahn- nen Ritzel	Verzahn- nen Tellerrad	Härten Ritzel	Härten Tellerrad	Hartfein- bearb. Ritzel	Hartfein- bearb. Tellerrad	Fertig- prüfung	Voriger Schritt	Nächster Schritt
Bearbeitung	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Daten Bearbeit	3	1	1	1	2	2	1	-	-
Laufprüfung	0	0	0	0	1	1	1	0	0
Daten Laufprüf	2	2	0	0	1	1	1	-	-
3-D - Messung	0	0	1	1	1	1	0	0	0
Meisterrad Nr.	4	2	4	3	4	3	0	-	-
Auswertung	0	0	1	1	1	1	1	0	1
Korrekturstand	2	0	1	0	1	1	0	-	-
Korr.- Adresse	1	1	1	1	1	2	3	-	-
Voriger Schritt	0	0	0	0	0	0	1	Nr. 24	-
Nächster Schr.	0	0	0	0	0	0	1	-	Nr. 25

26. Zur Auswertung liest der Systemrechner die Resultate der Fertigprüfung ein und erfragt im Dialog beim Bediener die schriftlich festgehaltenen Bewertungen. Da das Gesamtergebnis nicht zufriedenstellt, schlägt der Systemrechner eine spezifische Vergleichsprüfung an der Laufprüfmaschine vor. Diese Prüfung besteht erstens aus einer Referenzsuche, in der die Laufprüfmaschine etwas geänderte Achslagen ermittelt, die auf gleiche signifikante Frequenzpegel wie im Testfahrzeug führen. Im zweiten Teil der Prüfung soll die Laufprüfmaschine durch erneutes Verändern der Achslagen eine optimale Position finden, in der die kritischen Frequenzpegel auf akzeptable Werte abgenommen haben. Diese Stellung soll möglichst nahe bei der theoretischen "Null-Einstellung" liegen. Der Systemrechner speichert die entsprechenden Daten auf der Systemdiskette ab und bereitet die Regelmatrix, wie in Tabelle 27 gezeigt, auf den nächsten Schritt, die Laufprüfung, vor.

Tabelle 27

## Laufprüfung nach der Fertigprüfung

Regel-Matrix	Verzahn- ritzel	Verzahn- Tellerrad	Härten Ritzel	Härten Tellerrad	Hartfein- bearb. Ritzel	Hartfein- bearb. Tellerrad	Fertig- prüfung	Voriger Schritt	Nächster Schritt
Bearbeitung	1	1	1	1	1	1	1	0	0
Daten Bearbeit	3	1	1	1	2	2	1	-	-
Laufprüfung	0	0	0	0	1	1	1	0	1
Daten Laufprüf	2	2	0	0	1	1	1	-	-
3-D - Messung	0	0	1	1	1	1	0	0	0
Meisterrad Nr.	4	2	4	3	4	3	0	-	-
Auswertung	0	0	1	1	1	1	1	1	0
Korrekturstand	2	0	1	0	1	1	0	-	-
Korr.- Adresse	1	1	1	1	1	2	3	-	-
Voriger Schritt	0	0	0	0	0	0	1	Nr. 25	-
Nächster Schr.	0	0	0	0	0	0	1	-	Nr. 26

27. Die Laufprüfmaschine liest von der Systemdiskette die erforderlichen Steuerdaten ein und sucht z. B. iterativ die im Fahrzeug relevante, geräuschkritische Achslage bei entsprechender geräuschkritischer Prüfdrehzahl und Prüflast. Aus der gefundenen Position werden die Pegel der Vibrationen als akustische Kennwerte aufbereitet. Anschließend erfolgt das Suchen eines Optimums in der Nähe der "Null-Achslage". Für Schub- und Zugflanken muß dieser Test getrennt erfolgen, was zwei unterschiedliche Differenzvektoren liefert. Differenzvektoren und akustische Kennwerte werden als Resultat auf der Systemdiskette abgespeichert. Der Steuercomputer der Laufprüfmaschine bereitet die Regelmatrix auf den nächsten Schritt, die Auswertung der Resultate, vor. Das Ergebnis ist in Tabelle 28 dargestellt.

Tabelle 28

## Auswertung der Laufprüfungsoptimierung

Regel-Matrix	Verzahn- ritzel	Verzahn- Tellerrad	Härten Ritzel	Härten Tellerrad	Hartfein- bearb. Ritzel	Hartfein- bearb. Tellerrad	Fertig- prüfung	Voriger Schritt	Nächster Schritt
Bearbeitung	1	1	1	1	1	1	1	0	0
Daten Bearbeit	3	1	1	1	2	2	1	-	-
Laufprüfung	0	0	0	0	1	1	1	1	0
Daten Laufprüf	2	2	0	0	1	1	1	-	-
3-D - Messung	0	0	1	1	1	1	0	0	0
Meisterrad Nr.	4	2	4	3	4	3	0	-	-
Auswertung	0	0	1	1	1	1	1	0	1
Korrekturstand	2	0	1	0	1	1	0	-	-
Korr.- Adresse	1	1	1	1	1	2	3	-	-
Voriger Schritt	0	0	0	0	0	0	1	Nr. 26	-
Nächster Schr.	0	0	0	0	0	0	1	-	Nr. 27



28. Die gefundenen Differenzen der Achsvektoren können bei der Auswertung am Systemrechner mit umgekehrtem Vorzeichen in korrigierte Maschineneinstellaten des Ritzel- und/oder Tellerradschleifens umgerechnet werden. Diese haben zur Folge, daß die korrigierten Zahnräder in der für das Fahrzeug relevanten geräuschkritischen Achslage ebenso akzeptabel laufen wie vor der Korrektur in der optimalen Achslage (die für das Fahrzeug nicht relevant ist). Je nach Art und Größe der akustischen Kennwerte kann der Systemrechner z. B. auch eine gezielte Eingriffsstoßreduzierung durch Modifikation der Flankenformen anhand des Differenzvektors errechnen, die ebenfalls durch Schleifen realisiert werden kann. Der Systemrechner schlägt in diesem Beispiel eine Korrektur am Tellerrad vor, die durch erneutes Schleifen mit geänderten Einstellaten erfolgen kann. In Anbetracht der speziellen Freiheitsgrade moderner Tellerradschleifverfahren ist dieser Vorschlag realistisch. Der Systemrechner speichert neue Maschineneinstellaten auf die Systemdiskette und bereitet die Regelmatrix auf den nächsten Schritt, das Korrekturschleifen des Tellerrades, vor (Tabelle 29). Durch diese Vorgabe einer neuen Tellerradflankenform ändern sich alle in der Regelmatrix vorhandenen Tellerräder (Kennziffern wurden um 1 erhöht). Der Korrekturstand des Tellerradschleifens ändert sich von 1 auf 2, der "Datenstand Bearbeitung" ändert sich von 2 auf 3.

Tabelle 29

Schleifen eines korrigierten Tellerrades

Regel-Matrix	Verzahn- nen Ritzel	Verzahn- nen Tellerrad	Härten Ritzel	Härten Tellerrad	Hartfein- bearb. Ritzel	Hartfein- bearb. Tellerrad	Fertig- prüfung	Voriger Schritt	Nächster Schritt
Bearbeitung	1	1	1	1	1	1	1	0	1
Daten Bearbeit	3	1	1	1	2	3	1	-	-
Laufprüfung	0	0	0	0	1	1	1	0	0
Daten Laufprüf	2	2	0	0	1	1	1	-	-
3-D - Messung	0	0	1	1	1	1	0	0	0
Meisterrad Nr.	4	3	4	4	4	4	0	-	-
Auswertung	0	0	1	1	1	1	1	1	0
Korrekturstand	2	0	1	0	1	2	0	-	-
Korr.- Adresse	1	1	1	1	1	2	3	-	-
Voriger Schritt	0	0	0	0	0	1	0	Nr. 27	-
Nächster Schr.	0	0	0	0	0	0	1	-	Nr. 28

29. Durch das Verändern aller gespeicherten Tellerrad-Meisterräder wurde, ohne den geringsten Aufwand, der effiziente große Regelkreis (nachfolgend im Ausführungsbeispiel zu Fig. 1 beschrieben) aktiviert. Jedes anschließend hergestellte Tellerrad hat automatisch nach dem Schneiden und darauffolgenden Härten eine optimalere Flankenform im Hinblick auf das Schleifen. Das Ergebnis ist eine gleichmäßigere Werkstoffzugabe, die günstiger abgeschliffen werden kann und größere Werkzeugstandzeiten liefert. Erfindungsgemäß können jedoch auch alle bereits gehärteten Tellerräder mit der ursprünglichen Flankenform zum Schleifen verwendet werden. Nachdem das Schleifen eines korrigierten Tellerrades erfolgt ist, bereitet der Steuerungscomputer der Schleifmaschine die Regelmatrix auf den nächsten Schritt, das Vermessen auf dem Koordinatenmeßgerät, vor (Tabelle 30).

Tabelle 30

Koordinatenmessung des korrigierten Tellerrades

Regel-Matrix	Verzahn- ritzel	Verzahn- Tellerrad	Härten Ritzel	Härten Tellerrad	Hartfein- bearb. Ritzel	Hartfein- bearb. Tellerrad	Fertig- prüfung	Voriger Schritt	Nächster Schritt
Bearbeitung	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Daten Bearbeit	3	1	1	1	2	3	1	-	-
Laufprüfung	0	0	0	0	1	1	1	0	0
Daten Laufprüf	2	2	0	0	1	1	1	-	-
3-D - Messung	0	0	1	1	1	1	0	0	1
Meisterrad Nr.	4	2	4	3	4	3	0	-	-
Auswertung	0	0	1	1	1	1	1	0	0
Korrekturstand	2	0	1	0	1	2	0	-	-
Korr.- Adresse	1	1	1	1	1	2	3	-	-
Voriger Schritt	0	0	0	0	0	1	0	Nr. 28	-
Nächster Schr.	0	0	0	0	0	1	0	-	Nr. 29

30. Die Koordinatenmessung wird gegen das geänderte Meisterrad (Nr. 4) aus der letzten Korrekturberechnung vorgenommen, was vom Steuerungscomputer des Koordinatenmeßgerätes in Form eines Datensatzes von der Systemdiskette eingelesen wird. Nach der Messung des Tellerrades speichert der Steuerungscomputer die Abweichungen als Datensatz auf der Systemdiskette und stellt die Regelmatrix auf den folgenden Schritt, die Auswertung der Messung am Systemrechner, ein, wie es Tabelle 31 zeigt.

Tabelle 31

Auswertung des Meßresultates am Systemrechner

Regel-Matrix	Verzahn- ritzel	Verzahn- Tellerrad	Härten Ritzel	Härten Tellerrad	Hartfein- bearb. Ritzel	Hartfein- bearb. Tellerrad	Fertig- prüfung	Voriger Schritt	Nächster Schritt
Bearbeitung	1	1	1	1	1	1	1	0	0
Daten Bearbeit	3	1	1	1	2	2	1	-	-
Laufprüfung	0	0	0	0	1	1	1	0	0
Daten Laufprüf	2	2	0	0	1	1	1	-	-
3-D - Messung	0	0	1	1	1	1	0	1	0
Meisterrad Nr.	4	2	4	3	4	3	0	-	-
Auswertung	0	0	1	1	1	1	1	0	1
Korrekturstand	2	0	1	0	1	2	0	-	-
Korr.- Adresse	1	1	1	1	1	2	3	-	-
Voriger Schritt	0	0	0	0	0	1	0	Nr. 29	-
Nächster Schr.	0	0	0	0	0	1	0	-	Nr. 30

31. Das Schleifresultat und damit die Koordinatenmessung des letzten Schrittes, lieferte ein gutes Resultat. Der Systemrechner stellt daher als Ergebnis der Auswertung die Regelmatrix als nächsten Schritt auf die erneute Fertigprüfung im Testfahrzeug ein, wie es Tabelle 32 zeigt.

# DE 43 42 648 A1

Tabelle 32

Erneutes Fertigprüfen im Testfahrzeug

Regel-Matrix	Verzahn- nen Ritzel	Verzahn- nen Tellerrad	Härten Ritzel	Härten Tellerrad	Hartfein- bearb. Ritzel	Hartfein- bearb. Tellerrad	Fertig- prüfung	Voriger Schritt	Nächster Schritt
Bearbeitung	1	1	1	1	1	1	1	0	1
Daten Bearbeit	3	1	1	1	2	2	1	-	-
Laufprüfung	0	0	0	0	1	1	1	0	0
Daten Laufprüf	2	2	0	0	1	1	1	-	-
3-D - Messung	0	0	1	1	1	1	0	0	0
Meisterrad Nr.	4	2	4	3	4	3	0	-	-
Auswertung	0	0	1	1	1	1	1	1	0
Korrekturstand	2	0	1	0	1	2	0	-	-
Korr.- Adresse	1	1	1	1	1	2	3	-	-
Voriger Schritt	0	0	0	0	0	1	0	Nr. 30	-
Nächster Schr.	0	0	0	0	0	0	1	-	Nr. 31

Um in jeder Phase der Verzahnungsentwicklung, auch nach Unterbrechungen über den letzten Schritt hinaus, die gesamte Entwicklung zurückverfolgen zu können, werden auf der Systemdiskette die Datenbestände der Systemmatrizen eines jeden Schrittes abgespeichert. Aus diesem Datenbestand kann daher jederzeit der bereits erwähnte aktualisierte Arbeitsplan abgerufen werden, der dann eine Dokumentation der bereits erfolgten Schritte und ein Plan der noch durchzuführenden Schritte ist.

32. Der Analysecomputer des Testfahrzeugs speichert nach dem Beenden der Testfahrt bzw. der Messungen die Meßresultate auf der Systemdiskette ab und stellt die Systemmatrix auf den folgenden Schritt, die Auswertung der Messungen, ein (Tabelle 33).

Tabelle 33

Auswertung der Testfahrt am Systemrechner

Regel-Matrix	Verzahn- nen Ritzel	Verzahn- nen Tellerrad	Härten Ritzel	Härten Tellerrad	Hartfein- bearb. Ritzel	Hartfein- bearb. Tellerrad	Fertig- prüfung	Voriger Schritt	Nächster Schritt
Bearbeitung	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Daten Bearbeit	3	1	1	1	2	3	1	-	-
Laufprüfung	0	0	0	0	1	1	1	0	0
Daten Laufprüf	2	2	0	0	1	1	1	-	-
3-D - Messung	0	0	1	1	1	1	0	0	0
Meisterrad Nr.	4	2	4	3	4	3	0	-	-
Auswertung	0	0	1	1	1	1	1	0	1
Korrekturstand	2	0	1	0	1	2	0	-	-
Korr.- Adresse	1	1	1	1	1	2	3	-	-
Voriger Schritt	0	0	0	0	0	0	1	Nr. 31	-
Nächster Schr.	0	0	0	0	0	0	1	-	Nr. 32

33. Der Systemrechner ermittelt nun, daß der Fahrzeugtest zufriedenstellende Ergebnisse lieferte. Die Entwicklung des neuen Radsatzes ist damit abgeschlossen. Erfindungsgemäß sind die Entwicklung einer Radpaarung und die anschließende Serienproduktion völlig getrennte Arbeitsabschnitte. So beginnt die Produktion beispielsweise erst nach dem völligen Abschluß der Entwicklung mit dem Schneiden der weichen Zahnräder. Dies gilt gleichermaßen von sehr kleinen Losgrößen (z. B. zehn Radsätze), bis zu mehreren tausend Produktionseinheiten.

34. Der Systemrechner erstellt nach Abschluß der Entwicklung eine Produktionsdatei, deren Datenbestand im wesentlichen dem zuletzt erarbeiteten Inhalt der Systemdiskette entspricht. Die Produktionsmatrix erlaubt keine Änderung der "Daten Laufprüfung" und der "Meisterräder" mehr. Die Zähler in der Matrixzeile "Korrekturstand" werden alle auf Null zurückgesetzt. Die Zähler der Matrixzeile "Daten Bearbeitung" werden alle auf 1 zurückgesetzt. Tabelle 34 zeigt das Aussehen der Produktionsmatrix.

Tabelle 34

Produktionsmatrix für das Ritzelverzahnen, nach Abschluß einer Verzahnungsentwicklung

Produktions-Matrix	Verzahn-nen Ritzel	Verzahn-nen Tellerrad	Härten Ritzel	Härten Tellerrad	Hartfein-bearb. Ritzel	Hartfein-bearb. Tellerrad	Fertig-prüfung	Voriger Schritt	Nächster Schritt
Bearbeitung	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Daten Bearbeit	1	1	1	1	1	1	1	-	-
Laufprüfung	1	1	0	0	1	1	1	0	0
Daten Laufprüf	(2)	(2)	(0)	(0)	(1)	(1)	(1)	-	-
3-D - Messung	1	1	1	1	1	1	0	0	0
Meisterrad Nr.	(4)	(2)	(4)	(3)	(4)	(3)	0	-	-
Auswertung	1	1	1	1	1	1	1	0	0
Korrekturstand	0	0	0	0	0	0	0	-	-
Korr.- Adresse	1	1	1	1	1	2	3	-	-
Voriger Schritt	1	1	1	1	1	1	1	-	-
Nächster Schr.	1	1	1	1	1	1	1	-	-

Die Prüfmethode Laufprüfung und 3-D-Messung werden beide aktiviert. In der nachfolgenden Produktion ist es dann möglich, beliebig von einer der beiden oder von beiden Prüfmethode gemeinsam Gebrauch zu machen.

Für jede der sieben Operationen wird eine eigene Produktionsdiskette erstellt, in deren Produktionsmatrix die jeweilige Operation durch die Kennziffer 1 bei Bearbeitung freigibt und die Bearbeitungskennziffern der anderen Operationen mit 0 belegt. Außer dem Unterschied in den Bearbeitungskennziffern sind die Produktionsmatrizen aller Produktionsdisketten vor dem Start der Produktion identisch. Die Produktionsmatrix in Tabelle 34 zeigt dies für das Schneiden von Ritzeln. Alle anderen Datenbestände zum Bearbeiten Prüfen und Korrigieren können auf allen Produktionsdisketten gleich sein. Es ist auch möglich, nur die individuell erforderlichen Daten abzuspeichern, so daß z. B. die Produktionsdiskette zum Hartfeinbearbeiten der Ritzel keine Informationen über das Weichverzahnen enthält. Der Systemrechner erlaubt während der Produktion nur noch kleine Regelkreise, das bedeutet Regelkreise innerhalb einer oder zwischen zwei Spalten der Produktionsmatrix (bzw. einer oder zwei Operationen), ohne Beeinflussung der anderen Operationen.

Nachfolgend wird anhand von Zeichnungen ein zweites Ausführungsbeispiel der Erfindung erläutert. Es zeigt: Fig. 1 Die gesamte Vorrichtung in rein schematischer Darstellung, mit allen datenmäßigen Verknüpfungen. Gemäß Fig. 1 besteht die Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens aus:

1. einer Verzahnmaschine 10,
2. einer Härteanlage zur Wärmebehandlung 11,
3. einer Hartfeinbearbeitungsmaschine 12,
4. einer Fertigprüfeinrichtung 13,
5. einer Einrichtung zum Weichprüfen und -messen 14,
6. einer Einrichtung zur Hartvermessung 15,
7. einer Einrichtung zum Messen und Laufprüfen 16 nach der Hartfeinbearbeitung,
8. einer Einrichtung zur Laufprüfung 17 nach der Fertigprüfung,
9. einem Computer (44) zur Steuerung und Korrekturberechnung,
10. Verbindungsmittel (24 bis 35) zwischen den Bearbeitungseinrichtungen (10 bis 13), Prüfeinrichtungen (14

bis 17) und dem Systemrechner (44).

Die Verzahnmaschine 10 besitzt einen Messerkopf 45 zum Schneiden der Zahnflanken eines Zahnrades 18, insbesondere eines bogenverzahnten Kegelrades. Eine solche Verzahnmaschine 10 wird hier als bekannt vorausgesetzt. Insbesondere wird als bekannt vorausgesetzt, daß Werkzeugmaschinen, im allgemeinen und im besonderen auch Verzahnmaschinen, numerisch steuerbar sind und zu diesem Zweck mit einem Steuerungscomputer ausgestattet sind. Der Steuerungscomputer der Verzahnmaschine 10 liest alle Daten, die zur Einstellung und für den kinematischen Ablauf des Schneidprozesses erforderlich sind aus einer Datei 24. Insbesondere liest der Steuerungscomputer aus der Datei 24 auch die Regelmatrix ein und bearbeitet das Kegelrad 18 nur, wenn die entsprechende Kennziffer der Regelmatrix das Schneiden des Kegelrades 18 freigibt. Die Regelmatrix wird erfindungsgemäß nach der Bearbeitung auf den nächsten Schritt vorbereitet und vom Steuerungscomputer in eine Datei 25 gespeichert.

Die Härteanlage 11 zur Wärmebehandlung, wie beispielsweise Einsatzhärtung eines Zahnrades 19, wird als bekannt vorausgesetzt.

Die Hartfeinbearbeitungsmaschine 12 ist eine numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine zum Läppen, Honen oder Schleifen eines Zahnrades 18 mittels eines Werkzeuges 49, beispielsweise eine Schleifscheibe oder ein Honrad. Auch hier wird eine Hartfeinbearbeitungsmaschine 12 als bekannt vorausgesetzt. Der Steuerungscomputer der Hartfeinbearbeitungsmaschine 12 liest alle Daten die zur Einrichtung und für den kinematischen Ablauf des Feinbearbeitungsprozesses erforderlich sind, aus einer Datei 30. Insbesondere liest der Steuerungscomputer aus der Datei 30 auch die Regelmatrix ein und bearbeitet das Zahnrad 18 nur, wenn die entsprechende Kennziffer der Regelmatrix die Feinbearbeitung des Zahnrades 18 freigibt. Die Regelmatrix wird erfindungsgemäß nach der Bearbeitung auf den nächsten Schritt vorbereitet und vom Steuerungscomputer in eine Datei 31 gespeichert.

Die Fertigprüfeinrichtung besteht aus einem Testfahrzeug 20, das mit einer nicht dargestellten Geräusch- oder Körperschall-Meß- und Analyseeinrichtung ausgestattet ist. Das Testfahrzeug ist ein serienmäßiges Automobil oder ein Prototyp, in dem das Zahnrad 18 (Ritzel) und das Tellerrad 19 zur Fertigprüfung eingebaut sind. Testfahrzeug und Meß- und Analyseeinrichtung werden als bekannt vorausgesetzt. Spezifische Daten über den zu prüfenden Zahnradsatz 18, 19, die zur Messung erforderlich sind, liest die Meß- und Analyseeinrichtung aus einer Datei 33. Insbesondere wird aus der Datei 33 auch die Regelmatrix eingelesen und die entsprechende Kennziffer darauf geprüft, ob die Fertigprüfung von Ritzel 18 und Tellerrad 19 freigegeben ist. Nach der Fertigprüfung werden die Meßergebnisse, beispielsweise Schallpegel als Funktion der Frequenz 21 durch die Meß- und Analyseeinrichtung in eine Datei 34 gespeichert. Die Regelmatrix wird erfindungsgemäß auf den nächsten Schritt vorbereitet und ebenfalls in der Datei 34 gespeichert.

Die Einrichtung zum Weichprüfen 14 besteht aus einem Koordinatenmeßgerät 22 und einer Laufprüfmaschine 38, die beide in Fig. 1 nur angedeutet sind. Die Laufprüfmaschine 38 dient zur Optimierung des Laufverhaltens. Nach Abschluß einer Weichoptimierung wird eine Koordinatenmessung zur Fixierung der entwickelten Flankenformen durchgeführt.

Das Koordinatenmeßgerät 22 weist ein Tastorgan auf, zum Abtasten einer Zahnflanke 23 am Zahnrad 18. Insbesondere werden eine Anzahl von Punkten, die in der Schnittpunkten 37 eines Gitters liegen, abgetastet. Das Koordinatenmeßgerät 22 ist numerisch gesteuert und wird als bekannt vorausgesetzt.

In der Laufprüfmaschine 38 befindet sich ein Ritzel 18 und ein Tellerrad 19 miteinander im Eingriff. Dieses Kegelradpaar 18, 19 wird in an sich bekannter Weise abgerollt und auf die Lage des Flankenkontaktes (Tragbild) sowie auf Vibrationen oder Übertragungsschwankungen hin mit den Winkelschrittgebern 39 überprüft. Die Laufprüfmaschine 38 ist eine numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine, die hier ebenfalls als bekannt vorausgesetzt wird. Durch eine räumliche Verlagerung der Achsen des Kegelradpaares 18, 19 kann eine Achsposition gefunden werden, die eine optimale Tragbildlage und eine Reduzierung der Übertragungsschwankungen liefert. Aus den verbleibenden Übertragungsschwankungen werden akustische Kennwerte errechnet.

Beim ersten Durchlaufen der Einrichtung zum Weichprüfen soll das Laufverhalten untersucht werden. Alle für die Laufprüfung erforderlichen Daten liest der Steuerungscomputer der Laufprüfmaschine 38 aus einer Datei 25. Insbesondere wird aus der Datei 25 auch die Regelmatrix eingelesen und die entsprechende Kennziffer darauf geprüft, ob die Laufprüfung von Kegelradpaar 18, 19 freigegeben ist. Die optimale Achsposition wird für jede der beiden Drehrichtungen getrennt gesucht und vom Steuerungscomputer der Laufprüfmaschine 38 zusammen mit den akustischen Kennwerten in eine Datei 26 gespeichert. Die Regelmatrix wird erfindungsgemäß auf den nächsten Schritt, die Auswertung in der Auswerteeinrichtung 40, vorbereitet und ebenfalls in die Datei 26 gespeichert. Dem Bediener der Laufprüfmaschine ist die Möglichkeit gegeben, zusätzlich in ein Auswerteformular des Arbeitsplanes, intuitive Vorschläge zur Veränderung von Tragbildlage und -form einzutragen, die im Dialog bei der Auswertung berücksichtigt werden können.

Falls bereits eine Optimierung des Laufverhaltens stattgefunden hat, wird in der Einrichtung zum Weichprüfen 14 die Koordinatenprüfung aktiviert. Der Steuerungscomputer des Koordinatenmeßgerätes 22 liest die Sollaten des Flankengitters 37 der Flanke 23 eines Zahnrades 18 — das sogenannte Meisterrad — aus einer Datei 25. Insbesondere wird aus der Datei 25 auch die Regelmatrix eingelesen und die entsprechende Kennziffer darauf geprüft, ob die Koordinatenmessung von Zahnrad 18 freigegeben ist. Nach der Koordinatenmessung werden Abweichungen zwischen der realen Flanke 23 und der Flanke des Meisterrades durch den Steuerungscomputer des Koordinatenmeßgerätes 22 in eine Datei 26 gespeichert. Die Regelmatrix wird erfindungsgemäß auf den nächsten Schritt, die Auswertung in Auswerteeinrichtung 40, vorbereitet und ebenfalls in die Datei 26 gespeichert.

Die Auswerteeinrichtung 40 besteht aus einem Systemrechner 44. Der Systemrechner 44 liest alle für die Auswertung erforderlichen Daten von einer Datei 26. Insbesondere wird für die Auswertung aus der Datei 26

auch die Regelmatrix eingelesen und die entsprechende Kennziffer darauf geprüft, welche Auswertung durchgeführt werden soll. Aus der Belegung der Regelmatrix erhält der Systemrechner 44 erfindungsgemäß alle Informationen über den bisherigen Werdegang der Zahnradentwicklung. Wurde im vorausgehenden Schritt eine Laufprüfung durchgeführt, dann errechnet der Systemrechner 44 eine neue Einstellung der Verzahnmaschine 10 und neue Meisterräder. Wurde im vorausgegangenen Schritt eine Koordinatenmessung durchgeführt, dann dient diese nur zur Fixierung einer abgeschlossenen Weichzahnradentwicklung und der Systemrechner 44 errechnet aus den Flankenabweichungen der Datei 26 aktuelle Meisterräder für die Prüfeinrichtungen 14, 15 und 16, sowie eine aktualisierte Einstellung der Feinbearbeitungsmaschine 12. Nach einer Auswertung durch die Auswerteeinrichtung 40 werden die neuen Datenstände in eine Datei 24, 25 oder 27 gespeichert. Die Regelmatrix wird auf den nächsten Schritt vorbereitet und ebenfalls in eine Datei 24, 25 oder 27 gespeichert. Der nächste durchzuführende Schritt wird über einen aktualisierten Arbeitsplan am Bildschirm des Systemrechners 44 oder in ausgedruckter Form dem Bediener mitgeteilt. Nach durchlaufener Auswerteeinrichtung 40 gibt es die Möglichkeiten:

- Schneiden eines korrigierten Kegelrades mit Verzahnmaschine 10
- Koordinatenmessung eines erfolgreich optimierten Kegelradpaares mittels Koordinatenmeßgerät 22
- Härten eines Zahnrades in Härteanlage 11

Die Einrichtung zur Hartprüfung 15 besteht aus einem Koordinatenmeßgerät 22. Der Steuerungscomputer des Koordinatenmeßgerätes 22 liest die Solldaten des Flankengitters 37 der Flanke 23 eines Zahnrades 18 — das sogenannte Meisterrad — aus einer Datei 28.

Insbesondere wird aus der Datei 28 auch die Regelmatrix eingelesen und die entsprechende Kennziffer darauf geprüft, ob die Koordinatenmessung von Zahnrad 18 freigegeben ist. Nach der Koordinatenmessung werden Abweichungen zwischen der realen Flanke 23 und der Flanke des Meisterrades durch den Steuerungscomputer des Koordinatenmeßgerätes 22 in eine Datei 29 gespeichert. Die Regelmatrix wird erfindungsgemäß auf den nächsten Schritt, die Auswertung in Auswerteeinrichtung 41, vorbereitet und ebenfalls in die Datei 29 gespeichert.

Die Auswerteeinrichtung 41 besteht aus einem Systemrechner 44. Der Systemrechner 44 liest alle für die Auswertung erforderlichen Daten von einer Datei 29. Insbesondere wird für die Auswertung aus der Datei 29 auch die Regelmatrix eingelesen und die entsprechende Kennziffer darauf geprüft, welche Auswertung durchgeführt werden soll. Aus der Belegung der Regelmatrix erhält der Systemrechner 44 erfindungsgemäß alle Informationen über den bisherigen Werdegang der Zahnradentwicklung. Die vom Koordinatenmeßgerät 22 gemessenen Abweichungen zwischen den gehärteten Flanken 23 und dem optimierten Weich-Meisterrad (bzw. der systematische Anteil dieser Abweichungen) werden in eine vorkorrigierte Einstellung der Verzahnmaschine 10 und ein vorkorrigiertes Meisterrad der Prüfeinrichtung 14 umgerechnet. Das Meisterrad der Prüfeinrichtung 15 bleibt als Zielvorgabe unverändert. Nach einer Auswertung durch die Auswerteeinrichtung 44 werden die neuen Datenstände in eine Datei 24 oder 30 gespeichert. Die Regelmatrix wird auf den nächsten Schritt vorbereitet und ebenfalls in die Datei 24 oder 30 gespeichert. Der nächste durchzuführende Schritt wird über einen aktualisierten Arbeitsplan am Bildschirm des Systemrechners 44 oder in ausgedruckter Form dem Bediener mitgeteilt. Nach durchlaufener Auswerteeinrichtung 41 gibt es die Möglichkeiten:

- Schneiden eines korrigierten Kegelrades 18 mit Verzahnmaschine 10
- Feinbearbeiten eines Kegelrades 18 mit Hartfeinbearbeitungsmaschine 12

Die Einrichtung zum Hartfeinprüfen 16 besteht aus einem Koordinatenmeßgerät 22 und einer Laufprüfmaschine 38. Das Koordinatenmeßgerät 22 dient zur Optimierung des Bearbeitungsergebnisses der Hartfeinbearbeitungsmaschine 12. Die Laufprüfmaschine 38 dient hier zur Überprüfung des Laufverhaltens nach einer abgeschlossenen Kegelradentwicklung. Falls eine abschließende Fertigprüfung in Fertigprüfeinrichtung 13 erfolgt, kann die Laufprüfung in Prüfeinrichtung 16 entfallen.

Beim ersten Durchlaufen der Hartfeinprüfeinrichtung sollen die Abweichungen zwischen der realen Zahnflanke 23 von der Sollflankenform gemessen werden. Der Steuerungscomputer des Koordinatenmeßgerätes 22 liest die Solldaten des Flankengitters 37 der Flanke 23 eines Zahnrades 18 — das sogenannte Meisterrad — aus einer Datei 31. Insbesondere wird aus der Datei 31 auch die Regelmatrix eingelesen und die entsprechende Kennziffer darauf geprüft, ob die Koordinatenmessung von Zahnrad 18 freigegeben ist. Nach der Koordinatenmessung werden Abweichungen zwischen der realen Flanke 23 und der Flanke des Meisterrades durch den Steuerungscomputer des Koordinatenmeßgerätes 22 in eine Datei 32 gespeichert. Die Regelmatrix wird erfindungsgemäß auf den nächsten Schritt, die Auswertung in Auswerteeinrichtung 42, vorbereitet und ebenfalls in die Datei 32 gespeichert.

Falls eine optimale Annäherung der realen Kegelradflanke 23 an die Meisterradflanke bereits für Ritzel und Tellerrad erfolgt ist, kann eine Laufprüfung als abschließende Untersuchung erfolgen. Alle für die Laufprüfung erforderlichen Daten werden durch den Steuerungscomputer der Laufprüfmaschine 38 aus einer Datei 31 eingelesen. Insbesondere wird aus der Datei 31 auch die Regelmatrix eingelesen und die entsprechende Kennziffer darauf geprüft, ob die Laufprüfung von Kegelradpaar 18, 19 freigegeben ist. Die optimale Achsposition wird für jede der beiden Drehrichtungen getrennt gesucht und vom Steuerungscomputer der Laufprüfmaschine 38 zusammen mit den akustischen Kennwerten in eine Datei 32 gespeichert. Die Regelmatrix wird erfindungsgemäß auf den nächsten Schritt, die Auswertung in der Auswerteeinrichtung 42, vorbereitet und ebenfalls in die Datei 32 gespeichert.

Die Auswerteeinrichtung 42 besteht aus einem Systemrechner 44. Der Systemrechner 44 liest alle für die

Auswertung erforderlichen Daten von einer Datei 32. Insbesondere wird für die Auswertung aus der Datei 32 auch die Regelmatrix eingelesen und die entsprechende Kennziffer darauf geprüft, welche Auswertung durchgeführt werden soll. Aus der Belegung der Regelmatrix erhält der Systemrechner 44 erfindungsgemäß alle Informationen über den bisherigen Werdegang der Zahnradentwicklung. Wurde im vorausgehenden Schritt eine Koordinatenmessung durchgeführt, dann errechnet der Systemrechner 44 eine neue Einstellung der Feinbearbeitungsmaschine 12. Wurde im vorausgehenden Schritt eine Laufprüfung mit nicht zufriedenstellendem Resultat durchgeführt, dann errechnet der Systemrechner 44 aus den Achsverschiebungen und den kinematischen Kennwerten der Datei 32 neue Einstellungen für die Feinbearbeitungsmaschine 12 und die Verzahnmaschine 10 und korrigierte Meisterräder für die Weich-, Hart- und Hartfeinprüfung 14, 15 und 16. Nach einer Auswertung durch die Auswerteeinrichtung 42 werden die neuen Datenstände in eine Datei 30 oder 33 gespeichert. Die Regelmatrix wird auf den nächsten Schritt vorbereitet und ebenfalls in die Datei 30 oder 33 gespeichert. Der nächste durchzuführende Schritt wird über einen aktualisierten Arbeitsplan am Bildschirm des Systemrechners 44 oder in ausgedruckter Form dem Bediener mitgeteilt. Nach durchlaufener Auswerteeinrichtung 42 gibt es die Möglichkeiten:

- Feinbearbeiten des korrigierten Kegelrades mit Hartfeinbearbeitungsmaschine 12
- Fertigprüfung des Kegelradsatzes 18, 19 in der Fertigprüfeinrichtung 13

Die Einrichtung zur Laufprüfung 17 nach der Fertigprüfung besteht aus einer Laufprüfmaschine 38. Alle für die Laufprüfung erforderlichen Daten werden durch den Steuerungscomputer der Laufprüfmaschine 38 aus einer Datei 34 eingelesen. Insbesondere wird aus der Datei 34 auch die Regelmatrix eingelesen und die entsprechende Kennziffer darauf geprüft, ob die Laufprüfung von Kegelradpaar 18, 19 freigegeben ist. Durch eine räumliche Verlagerung der Achsen des Kegelradpaares 18, 19 kann eine Achsposition gefunden werden, die eine Tragbildlage und akustische Kennwerte liefert, die mit den akustischen Kennwerten 21 aus der Fertigprüfung vergleichbar sind. Diese Achsposition wird für jede der beiden Drehrichtungen getrennt gesucht und vom Steuerungscomputer der Laufprüfmaschine 38 in eine Datei 35 gespeichert. Die Regelmatrix wird erfindungsgemäß auf den nächsten Schritt, die Auswertung in Auswerteeinrichtung 43, vorbereitet und ebenfalls in die Datei 35 gespeichert.

Die Auswerteeinrichtung 43 besteht aus einem Systemrechner 44. Der Systemrechner 44 liest alle für die Auswertung erforderlichen Daten von einer Datei 35. Insbesondere wird für die Auswertung aus der Datei 35 auch die Regelmatrix eingelesen und die entsprechende Kennziffer darauf geprüft, welche Auswertung durchgeführt werden soll. Aus der Belegung der Regelmatrix erhält der Systemrechner 44 erfindungsgemäß alle Informationen über den bisherigen Werdegang der Zahnradentwicklung. Wurde im vorausgehenden Schritt eine Laufprüfung durchgeführt, um den Zusammenhang zu einer unzufriedenstellenden Fertigprüfung herzustellen, dann errechnet der Systemrechner 44 aus den Achsverschiebungen und den kinematischen Kennwerten der Datei 35 neue Einstellungen für die Feinbearbeitungsmaschine 12 und die Verzahnmaschine 10 und korrigierte Meisterräder für die Weich-, Hart- und Hartfeinprüfung 14, 15 und 16. Nach einer Auswertung durch die Auswerteeinrichtung 43 werden die neuen Datenstände in eine Datei 30 oder 36 gespeichert. Die Regelmatrix wird auf den nächsten Schritt vorbereitet und ebenfalls in die Datei 30 oder 36 gespeichert. Der nächste durchzuführende Schritt wird über einen aktualisierten Arbeitsplan am Bildschirm des Systemrechners 44 oder in ausgedruckter Form dem Bediener mitgeteilt.

Nach durchlaufener Auswerteeinrichtung 43 gibt es die Möglichkeiten:

- Feinbearbeiten des korrigierten Kegelrades mit Hartfeinbearbeitungsmaschine 12
- Abschluß der Kegelradentwicklung nach Erstellung einer Produktionsdatei 36

Der Systemrechner 44 ist ein als bekannt vorausgesetzter Personalcomputer oder beliebig anderer dezentral oder zentral installierte Computer. Die Auswerteeinrichtungen für die Operationen Verzahnen 40, Härten 41, Hartfeinbearbeiten 42 und Fertigprüfung 43, können alle in Form eines einzigen Systemrechners 44 oder durch Verwendung mehrerer Systemrechner 44 realisiert sein. Der Systemrechner 44 liest alle für die Auswertung der jeweiligen Prüfung oder Messung erforderlichen Daten aus einer Datei 26, 29, 32, 34 oder 35 (je nach der aktuellen Operation). Insbesondere wird für die Auswertung aus der Datei 26, 29, 32, 34 oder 35 auch die Regelmatrix eingelesen und die entsprechende Kennziffer darauf geprüft, welche Auswertung durchgeführt werden soll. Aus der Belegung der Regelmatrix erhält der Systemrechner erfindungsgemäß alle Informationen über den Werdegang der Zahnradentwicklung und den Datenstand der Bearbeitungsmaschinen 10 und 12, beziehungsweise der Meß- und Prüfeinrichtungen 14 bis 17. Der Systemrechner 44 verwendet spezielle Datenprogramme zur Auswertung, die neue Datenstände für die einzelnen Schritte der Operationen Verzahnen, Härten, Hartfeinbearbeiten und Fertigprüfen berechnen und insbesondere diese koordinieren, durch Verändern des Kennziffern-Codes der Regelmatrix. Nach einer jeweiligen Auswertung werden die neuen Datenstände in eine der Dateien 24 bis 36 gespeichert. Die Regelmatrix wird auf den nächsten Schritt vorbereitet und ebenfalls in eine der Dateien 24 bis 36 gespeichert. Der nächste durchzuführende Schritt wird über einen aktualisierten Arbeitsplan am Bildschirm des Systemrechners oder in ausgedruckter Form dem Bediener mitgeteilt.

Die Verbindungslinien 45 bis 48 deuten an, auf welche Datenstände die jeweilige Auswerteeinrichtung 40 bis 43 einen Einfluß ausübt. Die gerichteten Pfeile der Dateien 24 bis 36, beziehungsweise die Verbindungslinien 45 bis 48, stellen ein Regelschema dar. Die Operationen 10 bis 13 sind gleichbedeutend mit einer Regelstrecke. Die Prüfeinrichtungen 14 bis 17 sind die Meßstellen der Regelstrecke und die Auswerteeinrichtungen 40 bis 43 sind die Regelglieder eines mehrfach wirkenden Reglers. Der Datenfluß 25, 26 und 46 baut den ersten Regelkreis (Verzahnen) auf, der einen Einfluß auf die Weichverzahnung, den Hartzustand und den hartfeinbearbeiteten



Zustand des Kegelrades 18 ausübt. Der Datenfluß 28, 29 und 46 baut den zweiten Regelkreis auf, der nur einen Einfluß auf den Weichzustand des Kegelrades 18 hat. Der Datenfluß 31, 32 und 47 baut den dritten Regelkreis auf, der einen Einfluß auf den Hartzustand und den Weichzustand des Kegelrades 18 hat. Der Datenfluß 34, 35 und 48 baut den vierten Regelkreis auf, der einen Einfluß auf den hartfeinbearbeiteten Zustand, den Hartzustand und den Weichzustand des Kegelrades 18 hat.

Der Systemrechner 44 der Auswerteeinrichtung 43 erstellt nach einer erfolgreich abgeschlossenen Zahnradentwicklung bzw. -optimierung eine Produktionsdatei 36. Diese Produktionsdatei 36 enthält alle Daten zur Herstellung, Messung, Prüfung und Abweichungskompensation der entwickelten Zahnradpaarung 18, 19 die zur Serienfertigung erforderlich sind.

Bei den Dateien 24 bis 35 handelt es sich stets um die gleiche physikalische Speichereinheit, lediglich mit verschiedenem Inhalt. Diese schrittweise Veränderung des Dateiinhaltes, insbesondere der Steuerkennziffern der Regelmatrix, ermöglicht den erfindungsgemäßen streng koordinierten, optimalen Ablauf der Zahnradentwicklung. Die Dateien 24 bis 35 begleiten als Datendiskette die Entwicklung des Zahnradpaares 18, 19 oder stehen als zentrale Datei für jeden Entwicklungsschritt (z. B. über eine Datenleitung) zur Verfügung.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Entwickeln und Optimieren der Verzahnungen von beliebigen Kegel- und Hypoidradpaaren, bestehend aus

- einer Regelstrecke, mit den Operationen Verzahnen, Härten, Hartfeinbearbeiten und Fertigprüfen,
- Prüfeinrichtungen des Weichzustandes (14), des Hartzustandes (15), des hartfeinbearbeiteten Zustandes (16) und des fertiggeprüften Zustandes (17), die als Meßstellen der Regelstrecke dienen,
- Auswerteeinrichtungen (40 bis 43), die als Regelglieder von mehrfach wirkenden Reglern dienen,
- einer Datei, die alle Informationen zur Steuerung des Regelprozesses und alle Daten zur Steuerung der Operationen (10 bis 36), Prüfeinrichtungen (14 bis 17) und Auswerteeinrichtungen (40 bis 43) enthält und die aktuelle Vorgabe für den nächsten Verfahrensschritt liefert,
- einem Datentransfer zwischen den Verfahrensschritten (10 bis 17 und 40 bis 43);

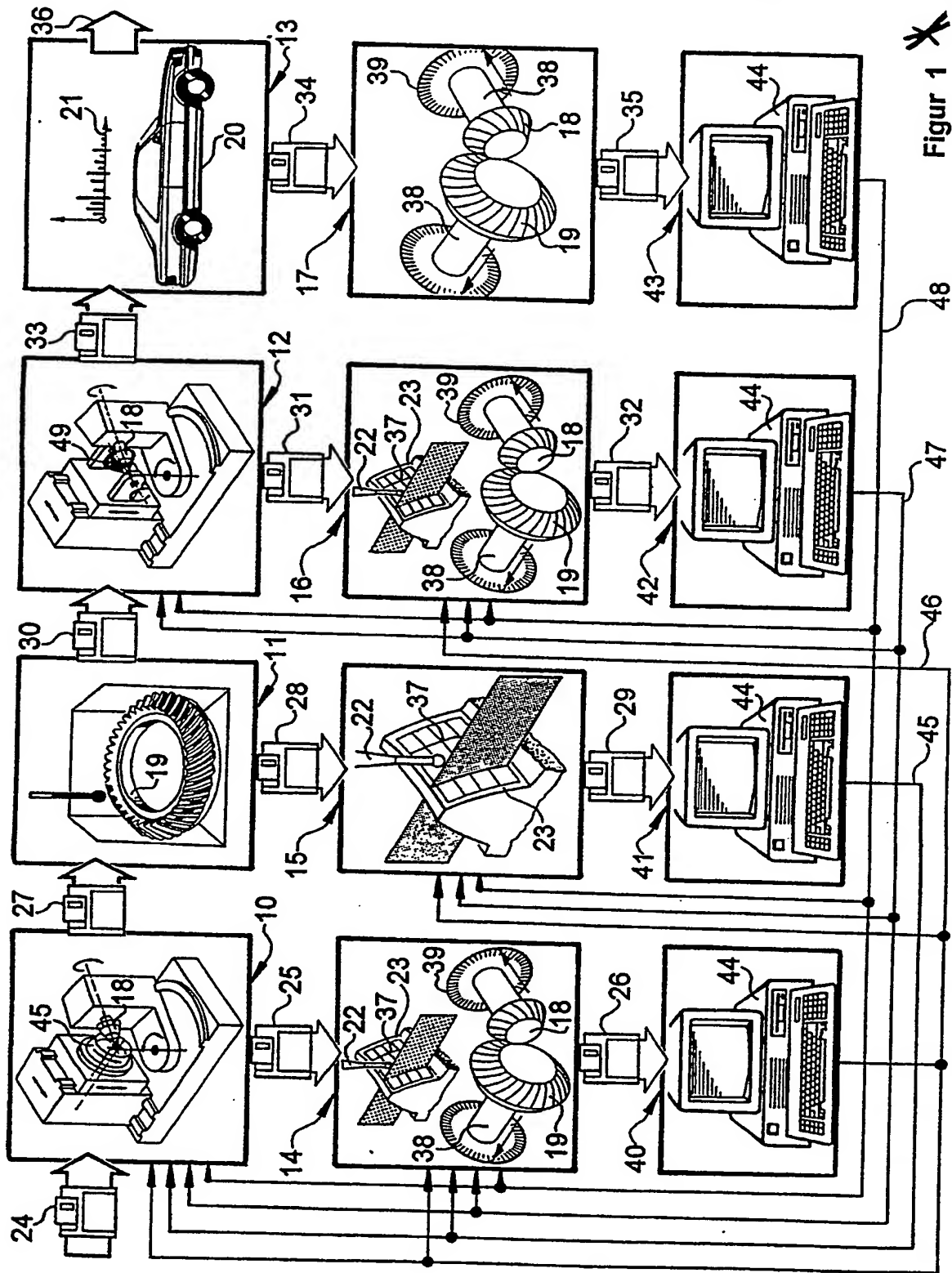
dadurch gekennzeichnet, daß

- eine Weichprüfeinrichtung (14), das Laufverhalten (Geräusch und Vibrationen) einer Kegelradpaarung (18, 19) mißt und
- eine Auswerteeinrichtung des Weichzustandes (40) aus den Ergebnissen einer Laufprüfung — falls notwendig — Korrekturdaten errechnet, die zu einer Verbesserung dieses Laufverhaltens führen und
- eine Auswerteeinrichtung des Weichzustandes (40) — falls notwendig — eine veränderte Einstellung einer Verzahnmaschine (10) und entsprechend veränderte (optimierte) Meisterräder für eine Weichprüfeinrichtung (14), eine Hartprüfeinrichtung (15) und eine Hartfeinprüfeinrichtung (16) liefert und
- eine Weichprüfeinrichtung (14) erst nach erfolgter Laufoptimierung eine Koordinatenmessung der Kegelräder (18, 19) im Vergleich mit einem veränderten (optimierten) Meisterradpaar durchführt und
- eine Hartprüfeinrichtung (15) den Unterschied zwischen einem optimierten Meisterrad und einem realen Kegelrad (18 oder 19) nach der Wärmebehandlung ermittelt und
- eine Auswerteeinrichtung des Hartzustandes (41) zur Kompensation des systematischen Härteverzugs (Vorhalten) eine veränderte Einstellung der Verzahnmaschine (10) und ein verändertes Meisterradpaar für eine Weichprüfeinrichtung (14) liefert und
- eine Hartfeinprüfeinrichtung (16) Koordinatenmessungen feinbearbeiteter Kegelräder (18, 19) im Vergleich mit einem optimierten Meisterradpaar durchführt und
- eine Auswerteeinrichtung des Hartfeinzustandes (42) — falls notwendig — Korrektoreinstellungen für eine Feinbearbeitungsmaschine (12) errechnet, um Abweichungen zwischen feinbearbeiteten Kegelrädern (18, 19) und einem optimiertem Meisterradpaar zu minimieren und
- eine Auswerteeinrichtung des Hartfeinzustandes (42) — falls notwendig — weitere Vorhaltekorrekturen für eine Verzahnmaschine (10) (für nachfolgend, geschnittene Kegelräder) errechnet und entsprechend veränderte Meisterräder für eine Weichprüfeinrichtung (14), und eine Hartprüfeinrichtung (15) liefert und
- eine Hartfeinprüfeinrichtung (16) nachdem die Abweichungen der feinbearbeiteten Kegelrädern minimiert sind, eine Laufprüfung des Kegelradpaares (18, 19) in Ergänzung oder anstelle der Fertigprüfung durchführt und
- eine Auswerteeinrichtung der Hartfeinbearbeitung (42) — falls notwendig — aus den Ergebnissen einer Laufprüfung in einer Hartfeinprüfeinrichtung (16) veränderte Einstellungen für eine Hartfeinbearbeitungsmaschine (12), eine Verzahnmaschine (10) und entsprechend veränderte Meisterräder für eine Weichprüfeinrichtung (14), eine Hartprüfeinrichtung (15) und eine Hartfeinprüfeinrichtung (16) liefert und
- eine Laufprüfung nach der Fertigprüfung in einer Prüfeinrichtung (17) erfolgt, mit dem Ziel eine Achseinstellung zu finden, die eine bestmögliche Korrelation der akustischen Kennwerte (21) zur Fertigprüfung (13) liefert und
- eine Auswerteeinrichtung der Fertigprüfung (43) — falls notwendig — aus Achslagenveränderungen und einer verbleibenden Differenz der akustischen Kennwerte zwischen einer Fertigprüfeinrichtung (13) und einer Laufprüfungseinrichtung (17) weitere Korrekturen für eine Verzahnmaschine (10) und eine Feinbearbeitungsmaschine (12) errechnet und entsprechend veränderte Meisterräder für eine Weichprüfeinrichtung (14), eine Hartprüfeinrichtung (15) und eine Hartfeinprüfeinrichtung liefert.



2. Verfahren nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß alle Daten zur Steuerung des Verfahrens in einer Matrix mit normalerweise neun Spalten und elf Zeilen (Regelmatrix) zusammengefaßt sind, wobei
- die Spalten der Regelmatrix die Fertigungsoperationen zur Kegelradentwicklung aufzeigen (Verzahnen- Ritzel, Verzahnen-Tellerrad, Härten-Ritzel, Härten-Tellerrad, Hartfeinbearbeiten-Ritzel, Hartfeinbearbeiten-Tellerrad und Fertigprüfung), sowie den zuletzt getätigten und den folgenden Verfahrensschritt aufweisen und
  - die Zeilen der Regelmatrix die einzelnen Schritte jeder Fertigungsoperation aufzeigen (Bearbeitung, Laufprüfung, Koordinatenmessung und Auswertung), über die Datenstände der beteiligten Maschinen und Prüfeinrichtungen Auskunft geben (Datenstand-Bearbeitung, Datenstand-Laufprüfung, Meister-rad-Nummer und Korrekturstand), sowie zur Eindeutigkeit den zuletzt getätigten und den folgenden Verfahrensschritt aufweisen und
  - ein zeilenweises Durchlaufen der Schritte einer Fertigungsoperation (Spalte) so oft wiederholt wird, bis Laufverhalten und Genauigkeit des entsprechenden Zustandes (weich, hart, hartfeinbearbeitet, fertiggeprüft) ausreichen hoch sind und erst dann die Operationen der nächsten Spalte zeilenweise abgearbeitet werden.
3. Verfahren nach Patentanspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß alle Daten zur Steuerung des Verfahrens in beliebigen Datenfeldern gespeichert sind, wobei die Regeln zur Auswertung der beliebigen Datenfelder die gleiche Anleitung zum Handeln aufweist wie die Auswertung der Regelmatrix.
4. Verfahren nach Patentanspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß anstelle einer Fertigprüfung (13) lediglich eine Laufprüfung (16) nach der Feinbearbeitung erfolgt.
5. Verfahren nach Patentanspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß es nicht ausschließlich für die Entwicklung, sondern auch für die Serienproduktion von Kegelradsätzen, insbesondere solcher, an die hohe Qualitätsansprüche gestellt werden bzw. deren Qualität und Laufverhalten schwer beherrschbar ist, eingesetzt wird.
6. Verfahren nach Patentanspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Bearbeitungs-, Prüf- und Auswerteeinrichtungen (10 bis 17 und 40 bis 43) sämtlich computergesteuert sind und ihre datenmäßige Verbindung durch Datendisketten erfolgt.
7. Verfahren nach Patentanspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Bearbeitungs-, Prüf- und Auswerteeinrichtungen (10 bis 17 und 40 bis 43) sämtlich computergesteuert sind und ihre datenmäßige Verbindung durch Datenleitungen oder Datenfernleitungen erfolgt.
8. Verfahren nach Patentanspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die datenmäßige Verbindung der Bearbeitungs-, Prüf- und Auswerteeinrichtungen (10 bis 17 und 40 bis 43) durch Papiausdrucke, deren Daten manuell eingegeben werden, erfolgt.
9. Verfahren nach Patentanspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die datenmäßige Verbindung der Entwicklungseinrichtungen (10 bis 17 und 40 bis 43) aus einer Mischform zwischen Datendisketten, Datenleitungen und Papiausdrucken realisiert ist.
10. Verfahren nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß es auf beliebige Zahnradpaarungen, wie z. B. Stirnräder, angewandt wird.
11. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Patentanspruch 1, enthaltend
- eine Verzahnmaschine (10),
  - eine Härteeinrichtung (11),
  - eine Hartfeinbearbeitungsmaschine (12),
  - eine Fertigprüfeinrichtung (13), bestehend aus einem Testfahrzeug, ausgestattet mit akustischen Meßinstrumenten,
  - eine Weichprüfeinrichtung (14), bestehend aus einer Laufprüfmaschine und einem Koordinatenmeßgerät,
  - eine Auswerteeinrichtung des Weichzustandes (40), bestehend aus einem geeigneten Computer,
  - eine Hartprüfeinrichtung (15), bestehend aus einem Koordinatenmeßgerät,
  - eine Auswerteeinrichtung des Hartzustandes (41), bestehend aus einem geeigneten Computer,
  - eine Hartfeinprüfeinrichtung (16), bestehend aus einem Koordinatenmeßgerät und einer Laufprüfmaschine,
  - eine Auswerteeinrichtung des feinbearbeiteten Zustandes (42), bestehend aus einem geeigneten Computer,
  - eine Laufprüfeinrichtung nach der Fertigprüfung (17),
  - eine Auswerteeinrichtung nach der Fertigprüfung (43), bestehend aus einem geeigneten Computer
- gekennzeichnet dadurch, daß
- die Maschinen und Prüfeinrichtungen (10 bis 17) manuellmechanisch oder numerisch gesteuert sind oder eine beliebige Mischung von manuell-mechanischen und numerisch gesteuerten Maschinen und Prüfeinrichtungen besteht,
  - sich die Maschinen und Prüfeinrichtungen (10 bis 17) an beliebig weit entfernten Orten, z. B. in unterschiedlichen Fabriken befinden können.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen



Figur 1

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**